مقدمة هندسة الإنتاج

INTRODUCTION TO PRODUCTION ENGINEERING

المؤلفون

أ.د. أحمد سالم الصباغ — أ.د. منير محمد فريد قورة

أ.د. مصطفى عبد المنعم شعبان — أ.د. أمين الخربوطلى

د. منصور محمد منصور البرديسى

د. ناهد حسين عافية

مقدمة هندسة الإنتاج

INTRODUCTION TO PRODUCTION ENGINEERING

المؤلفون

أ.د. أحمد سالم الصباغ — أ.د. منير محمد فريد قورة
أ.د. مصطفى عبد المنعم شعبان — أ.د. أمين الخربوطلى

د. منصور محمد منصور البرديسى
د. ناهد حسين عافية

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

يهدف هذا العمل إلى إعطاء مقدمة مبسطة ومعلومات عامة عن المواد التى نتعامل معها وطرق تشكيلها وتشغيلها لتحويليها إلى المعدات والمنشآت والأدوات التى نستفيد بها . وهو بصورته المبسطة للغاية يعتبر مفيدًا لزيادة المعلومات العامة للجيل المعاصر الذى يعيش عصر التكنولوجيا متسارعة فى التطور . فمعرفة الفرد بمحتويات هذا الكتيب أصبح ركنًا أساسيًّا للثقافة العامة ، وهو من ناحية أخرى يصلح مقدمة أو مدخلا للدارسين فى المجالات الهندسية والتكنولوجية بكافة فروعها وتخصصاتها ، وبالتالى فهو يكون مفيدًا لطلاب السنة الإعدادية بكليات الهندسة والسنوات الأولى فى المعاهد الفنية وهو يعتبر فاتح شهية إستعدادًا لما سيتلقاه الطالب من دراسة فى التخصصات المختلفة .

ونرجو أن لا يتخذ الطالب محتويات هذا الكتاب مادة للحفظ والاسترجاع فى الامتحان بقدر ما يعتبره مادة أساسية لبناء قاعدة معلوماته الهندسية الضرورية وبهذا المفهوم يمكنه أن يتذوق محتويات هذا العمل ويدرك أهميته فى تفكيره الهندسى فى المستقبل .

نرجو أن يسهم هذا العمل المتواضع بإضافة ولو قليلة للمكتبة التكنولوجية العربية وللثقافة العامة .

أكتوبر ١٩٩٦

المؤلفون

الفهـــرس

الباب الأول

الباب الثانى

الباب الثالث

مقدمة (١٠٣) عمليات الإنتاج للمنتجات تامة الصنع (١٠٣) عمليات التشكيل بالصب (السباكة) (١٠٣) خطوات تشكيل القالب الرملى (١٠٦) عمليات التشكيل بوصل المعادن (١١٠) الطرق الميكانيكية (١١١) عمليات اللحام (١١٢) لحام الصهر (١١٤) اللحام بالأكسى استلين (١١٤) القطع بلهب الأكسى استلين(١١٨) اللحام بالقوس الكهربائى (١٢٠) اللحام بالضغط على الساخن (١٢٢) لحام المقاومة الكهربائية (١٢٣) إنتاج المواسير الملحومة (١٢٤) اللحام بالسبائك الصهيرة (المونة) (١٢٤) اللحام بالسبائك الصهيرة اللدنة (لحام القصدير أو السمكرة) (١٢٦) لصق المعادن (١٢٦) أنواع المواد اللاصقة (١٢٧).

الباب الرابع

عمليات تشغيل المعادن (١٣١) التشغيل بالطرق اليدوية (١٣٢) القطع بالأجنة(١٣٢) القطع بالمبارد (١٣٢) القطع بالمنشار (١٣٥) المقص اليدوى (١٣٧) الادوات المساعدة فى عمليات التشغيل اليدوى (١٣٨) المناجل اليدوية (١٣٨) المقصات اليدوية (١٣٨) التشغيل الميكانيكى (١٣٩) حركات القطع الاساسية لعمليات التشغيل(١٣٩) عدد وادوات القطع (١٤١) المواد المستخدمة فى ادوات القطع. (١٤١) العناصر الاساسية للتشغيل (١٤٣) المكنات الاساسية للشتغيل (١٤٤) ماكينة المخرطة(١٤٤) حساب زمن التشغيل بالخراطة. (١٥٣) مكنات الثقب (١٥٥) حساب زمن التشغيل بالمثقاب (١٥٩) ماكنات التفريز (١٦٠) المكاشط الناطحة وذات العربة والرأسية (١٦٣) مكنات التجليخ. (١٦٦)

الباب الخامس

التشكيل اللدن للمعادن (١٧١) الحدادة (١٧٣) الحدادة الحرة (١٧٣) العمليات الأساسية فى الحدادة الحرة (١٧٨) عملية الكبس - الفلطحة (١٨١) عملية السحب (١٨١) عملية الثقب (١٨١) عملية الثنى (١٨١) عملية اللى (١٨١) عملية القطع (١٨٢)

الباب السادس

الباب السابع

الباب الثامن

الباب الأول

المدخل إلى هندسة الإنتاج

Introduction to Production Engineering

(دكتور أحمد سالم الصباغ)

١-١ مقــدمة :

يمكن تعريف هندسة الإنتاج بأنها دراسة الأساليب والطرق اللازمة لتحويل الخامات إلى منتجات مصنعة يمكن الاستفادة بها . وتبدأ هذه الدراسة بالتعرف على خواص الخامات المختلفة وتحويلها إلى خامات نصف مصنعة قد تستخدم بحالتها أو تصنع بعد ذلك إلى منتجات كاملة التصنيع . وعندما نتأمل كل السلع والأدوات والمعدات والمكنات وكل ما نحتاجه فى حياتنا اليومية ونتعامل معه نجد أن إنتاجها مر بمراحل عديدة من الخام إلى المنتج الأخير ، وتمتد دراسة هندسة الإنتاج بجانب عمليات التصنيع من تشغيل وتشطيب إلى وضع خطط الإنتاج بالأسس الاقتصادية والتحكم فى جودة الإنتاج وتصميم وإنشاء المكنات وتخطيط المصانع المنتجة وكل ما يتعلق بعمليات الإنتاج من علاقات صناعية كدراسة لنظم الإدارة فى المصانع ووضع الأجور والحوافز ودراسة العمل والأمن والصحة الصناعية والرعاية الاجتماعية للعاملين . كل ذلك بقصد الوصول إلى رفع الكفاءة الإنتاجية داخل المنشأة الصناعية أى أداء العمل بأقل مجهود بشرى وبأفضل جودة إنتاج وأقل تكلفة وأمان تام .

وتنقسم دراسة « هندسة الإنتاج » إلى عنصرين أساسيين :

(أ) دراسة نظرية كنظريات القطع والتشغيل والتشكيل ومقومات العمل ... إلخ .

(ب) دراسة عملية ويطلق عليها تكنولوجيا الإنتاج وتتعرض للأساليب والطرق والوسائل التكنولوجية لعمليات الإنتاج .

ويمكن القول أن دراسة هندسة الإنتاج تصبح على ضوء ما تقدم ضرورية وأساسية بقدر كبير للتكوين العام للمهندس سواء كان مهندسًا ميكانيكيًا أو كهربائيًا أو مدنيًا أو معماريًا فكلهم يتعامل مع خامات ومواد نصف مصنعة ومعدات وآلات ويقوم بتسخيرها مستعينًا بالقوى العاملة البشرية أو الميكنة لإتمام المنشآت سواء كانت معمارية أو مدنية أو كهربائية ، أو ميكانيكية ، وهندسة الإنتاج (المبسطة) بصفة عامة مفيدة لكل فرد إذ تساعده هذه الدراسة على زيادة درايته لكيفية التعامل مع المواد والأدوات والمكنات التى ترتبط بحياته اليومية . ولذلك أصبحت هذه المادة تدرس بصورة مبسطة فى مراحل التعليم العام فى الدول المتقدمة والصناعية ويمكن القول من ناحية أخرى أن هندسة الإنتاج مرتبطة بالنهضة الصناعية والتكنولوجية التي يعاصرها جيلنا الحالى والتى تتطور بعجلة فائقة . فبقدر ما يكون تقدم الدول بقدر ما يكون الاهتمام بهذه الدراسة .

١-٢ عمليات الإنتاج :

يمكن تصنيف الصناعات الإنتاجية إلى النوعيات التالية :

١ - صناعة الغذاء والكساء .

٢ - صناعة الأثاث .

٣ - صناعة المنشآت المدنية والمعمارية .

٤ - الصناعات المعدنية والهندسية .

٥ - صناعة معدات وآلات النقل والجر (السيارات والطائرات والقطارات والجرارات والسفن) .

٦ - الصناعات الحجرية (التعدين والحراريات) ومنتجاتها والرمال والطمى والزجاج .

وفى كل الأحوال تعتمد الصناعة على مقومات أساسية تعرف بخمسة حروف M (5M's) .

[Money, Material, Man, Method, Marketing]

١ - رأس المال Money .

٢ - المواد الداخلة فى الصناعة سواء مباشرة أو غير مباشرة Material .

٣ - العمالة Man .

٤ - معرفة الأساليب التكنولوجية للإنتاج Method .

٥ - عملية التسويق للمنتجات Marketing .

فرأس المال ضرورى للصناعة سواء كان فى مراحل الإنشاء أو فى التسيير والتطوير والتوسع فهو يستثمر الأراضى والمبانى والمكنات والمواد اللازمة للصناعة . كذلك الحال بالنسبة للمواد الأساسية والوسيطة والثانوية . وبنفس الأهمية يكون تواجد الأيدى العاملة على مستوياتها الفنية والإدارية المختلفة . أما معرفة الأساليب سواء بالنسخ أو النقل أو حق الانتفاع (Know How & Copying) أو البحث العلمى والتطوير فهو أمر لا يمكن أن تقوم بدونه صناعة ، وأخيرًا بل ويجب أن يكون فى المقدمة هو نشاط التسويق ؛ فبدون دراسة السوق ومعرفة حاجاته الحالية والمستقبلية كماً وكيفاً لا يجوز أن تبدأ أى عملية إنتاجية إذ أن الإنتاج يعتمد أساساً على حاجة السوق وتطلعاته .

وسوف نهتم فى هذه الدراسة بالمواد الداخلة فى الصناعة وكذلك معرفة الأساليب التكنولوجية للعمليات الأساسية للتصنيع والتى تهم المهندسين بصفة عامة .

١-٣ مواد الصناعة :

تنقسم المواد بصفة عامة إلى :

١ - مواد فلزية (معدنية) Metallic .

(أ) فلزات أو معادن حديدية Ferrous كالحديد وسبائكه (خلائطه مع الفلزات الأخرى) .

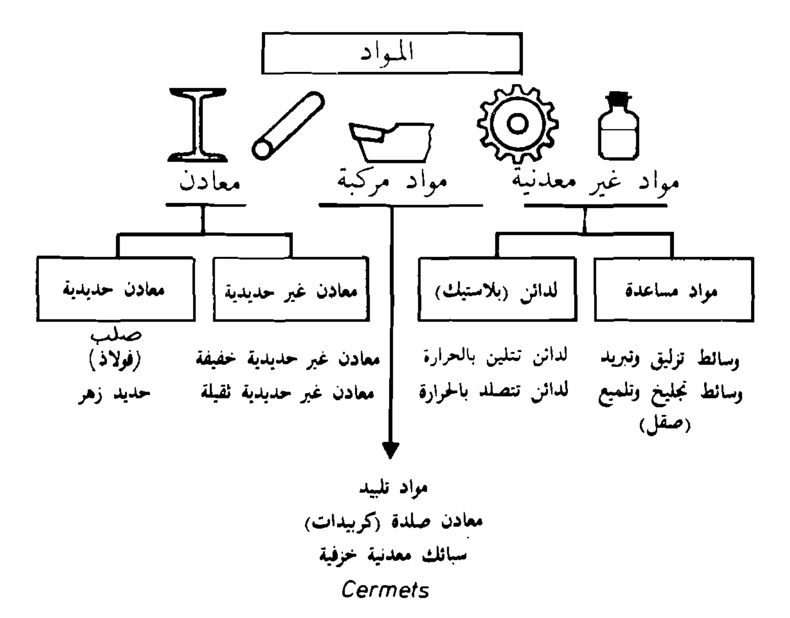
(ب) فلزات أو معادن غير حديدية Non-ferrous كالنحاس والألومنيوم والزنك والنيكل والكروم والقصدير والفضة والذهب وغيرها بجانب سبائكها (خلائطها) .

٢ - مواد لا فلزية (غير معدنية) Non-metallic .

(أ) مواد عضوية Organic مثل التى تحتوى فى تكوينها على خلايا حيوانية أو نباتية سواء حية أو ميتة أو كربون مثل الجلد والخشب والورق والمطاط والبتروكيمائية والبلاستيك وغيرها .

(ب) مواد غير عضوية Inorganic كالأسمنت والخزف والزجاج والجرافيت ومنتجات التعدين Minerals .

ويوضح الشكل (١-١) تخطيطاً لهذا التصنيف .



شكل (١-١) تصنيف المواد

وهناك فارقاً أساسيًا بين المواد العضوية وغير العضوية فالعضوية تذوب فى المعتاد فى المذيبات العضوية (كالكحول ورابع كلوريد الكربون) ولكنها لا تذوب فى الماء . بينما تذوب معظم المواد غير العضوية فى الماء هذا بجانب كون المواد غير العضوية أكثر مقاومة لفعل الحرارة عن المواد العضوية .

وبصفة عامة يصير الاختيار بين أى من هذه المواد بمدى موافقة الخواص الفيزيائية للمادة لظروف الاستخدام بجانب اعتبار العوامل الاقتصادية وإمكان الحصول على المادة اقتصاديًا إذا تساوت الخواص الفيزيائية لمجموعة من المواد .

١ - ٣ - ١ بنية المواد :

تتوقف خواص المواد فى المقام الأول على نوع ذراتها (أو أيوناتها) وترابطها ونظام ترتيبها فى المادة .

والمواد كلها كما نعلم تتكون أساسًا من ذرات تتجمع ويرتبط بعضها ببعض بطرق إما منتظمة فى ترتيب هندسى معين وإما غير منتظمة . والذرات كما تعلمنا فى دروس الكيمياء تتكون من نوى (جمع نواة) شحنتها موجبة تدور حولها فى مدارات خاصة الكترونات شحنتها

سالبة والنواة يمكن تبسيط تـركيبها بكونها تحتوى على بروتونات مـوجبة الشحنة ونيترونات غير مشحونة كهربائيًا (متعادلـة) وكتلتيهما تكاد تكون متساوية وتعادل ٦٧ , ١ × ١٠$^{-٢٤}$ جم أما الالكترونات التى تدور حول النواة فشحنتها سالبة بقدر يعادل ما بالنواة منه شحنة إلا أن كتلة الالكترون تعتبر ضئيلة جـدًا قياسًا بكتلـة البروتون إذ تعـادل $\frac{١}{١٨٣٧}$ منه . ويمكن العودة إلى مراجعة ما سبـق دراسته فى تركيب الذرة ومدارات الالكترونات ويهمنـا فى هذا الصدد دراسة تـرابط الذرات لتكـوين المادة التى سنستخدمهـا فى حياتنـا الهندسيـة . وفيما يلى إيجاز شديـد لأنواع الارتباط بين الذرات .

١ - ٣ - ٢ ارتباط الذرات :

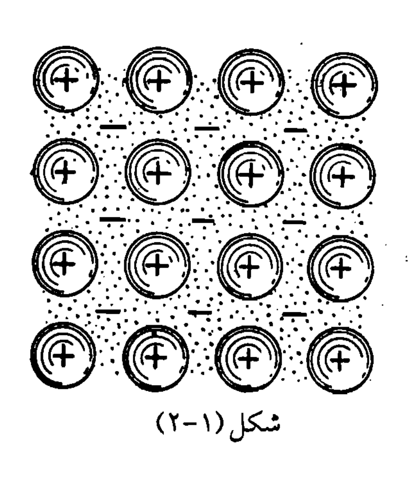
لا توجـد الذرات فى المادة بصـورة إنعزالية أى لا تـوجد كل ذرة منفـردة عن زميلاتها بل تحاول الـذرات التجمع بصورة معينـة لتكـوين بناء المادة ، فـالـذرات إذن فى عنصر ما تأخـذ أوضاع بعضها بالنسبـة للبعض (قد تكون فى أشكال هندسية منتظمـة ومتكررة وقد لا تكون) ويسيطر على أوضاعهـا طاقة تربط بعضهـا ببعض بحيث تحفظها فى أوضاع الاتـزان النهائية . وعلى مقدار ونوع هذه الطاقة أو القوى الرابطة تتوقف خواص عديدة للعنصر . فمقاومة عنصر ما لـلأحمال (إجهاد) يعتبر دليلاً واضحاً على وجـود هذه القوى الرابطـة . ولابد للتغلب على هذه القـوى الرابطة من استخـدام طاقة خـارجية إمـا ميكانيكية (لتحطيم العنصر بـانفصال ذراتـه) أو حـرارية لصهـر العنصر أو تبخيره . وتتـوقف طبيعـة القوى الـرابطـة على التركيب الالكترونى للـذرات . وهذا الارتبـاط قد يكـون أساسيًـا متيناً Primary bond أو ارتباطـاً واهياً ثانوياً Secondary bond .

ويهمنا فى دراستنـا هذه الارتباط الأسـاسى وبصفة خاصـة الارتباط المعدنى وهـو الذى يسيطر على الفلزات .

الارتباط المعدنى Metallic bond :

يعتبر هـذا الارتباط أهم الأنـواع إذ على أساسـه تـرتبط ذرات الفلزات بعضهـا ببعض . وتبينا مما سبق دراستـه أن الذرات التى بها الكترون واحد أو اثنين أو ثلاثـة فى غلافها الخارجى لا يمكنها أن ترتبـط بالارتباط المشترك ، وفى هذه الحالات لا تجد الذرات أمـامها من سبيل إلا أن تصبح هذه الالكترونـات التى فى الغلاف الخارجى مشتركـة بين كل ذرات العنصر وتسمى فى هذه الحالـة الالكترونات الحرة (أو السحب الالكترونيـة أو الغاز الالكترونـى) لأنها لم تعد

تخص ذرة معينة بل تصبح مشاعاً لجميع ذرات العنصر ويتم الارتباط بين أيونات العنصر الموجبة (باعتبار الذرات متحررة من الكتروناتها فى الغلاف الخارجى) عن طريق الالكترونات السالبة . انظر شكل (١-٢) .


شكل (١-٢)

وتتميز العناصر التى ترتبط بهذه الوسيلة بأنها جيدة فى توصيلها الحرارى والكهربائى إذ أن وسيلة الانتقال لهذه هى الألكترونات الحخرة ، كما تتصف بمقاومتها للإجهادات مع سهولة تشكيلها نسبياً .

والحقيقة أن الربط هنا سيكون بين أيونات المعدن بعد تأين الذرات وخروج الكتروناتها لتكون سحب الكترونية تكون وسيلة الربط بين الأيونات (فيصير الربط بين أيونات سالبة وألكترونات موجبة وأيونات سالبة) شأنها فى ذلك شأن المونة بين الطوب فى البنيان (شكل ١-٢) .

١ - ٣ - ٣ بنية الأجسام الجامدة Structure of Solid Bodies :

يمكن تقسيم بنية العناصر بصفة عامة إلى :

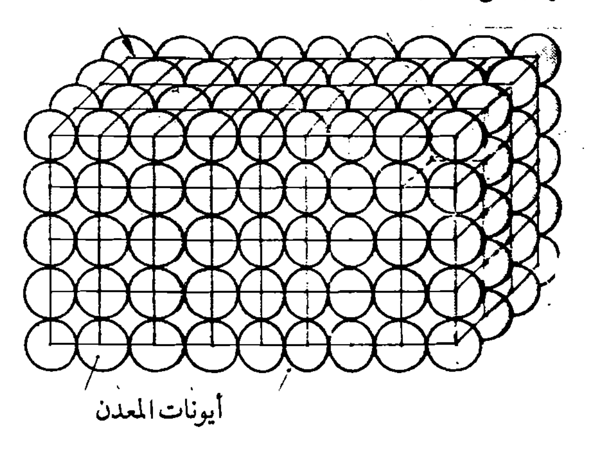
أولاً : تركيب بلورى Ctystalline Structure .

ثانياً : تركيب غير بلورى أو لا بلورى Non Ctystalline or Amorphous .

ويقصد بالتركيب البلورى هو أن تترتب ذرات العنصر بعضها بالنسبة للبعض ترتيبًا هندسيًا خاصًا (شبكات فراغية هندسية) متكونة مما يسمى وحدة الخلية Unit call والتى تكرر نفسها بانتظام مكونة فى النهاية بلورة العنصر Crystal .

أما فى التركيب اللابلورى فالذرات لا تخضع فى ترتيبها لأى نظام هندسى معين كما هو الحال فى السوائل أو فى الفلزات المنصهرة ويلاحظ أن الترتيب الهندسى للذرات فى العناصر البلورية يخلق بناء منتظماً ومزدحمًا بالذرات يصعب انهياره بتأثير القوى الخارجية (صفة الفلزات) . فالفلزات تتصف بمقاومتها للاجهادات بخلاف اللا فلزات . والفلزات بصفة عامة تتبع الصورة البلورية فى تركيبها .

١ - ٣ - ٤ التركيب الهندسى أو البنية البلورية فى الفلزات : Crystallography



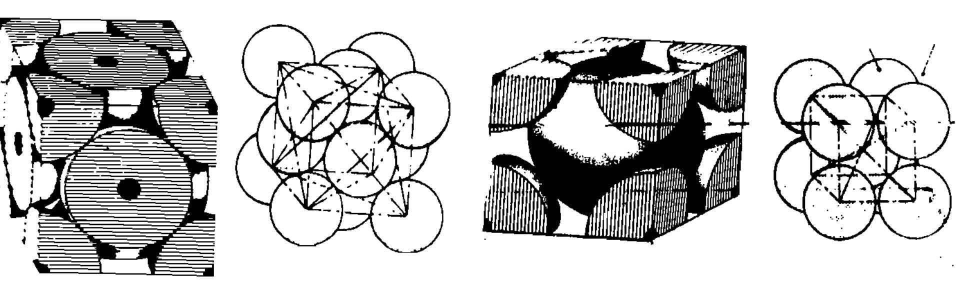
شكل (١-٣)

بعد العرض الموجز لتركيب الذرة يجدر بنا الآن معرفة الطريقة التى تتجمع بها الذرات لتكون فى النهاية البناء الكامل للفلز (المعدن) فكما سبق أن ذكرنا فإن الفلزات بصفة عامة لها الصفات البلورية Crystalline فى الحالة الجامدة . أى أن ذراتها تتجمع فى بناء فراغى منتظم (بغض النظر عن بعض الاستثناءات) بما يسمى الخلايا Cells التى تكرر نفسها فى الاتجاهات الفراغية الثلاثة لتكون بلورة الفلز شكل (١-٣) .

ولا يمكن من الناحية العملية رؤية خلايا الفلزات حتى لو استخدمت أقوى الوسائل المجهرية كالمجهر الالكترونى بينما يمكن مشاهدة معظم بلورات الفلزات باستخدام المجهر المعتاد (الميكروسكوب) . وهذه الخلايا تتعدد فى أشكالها الهندسية ويبلغ هذا العدد أربعة عشر شكلاً هندسياً تترتب الذرات (الأيونات) فى أوضاعها فوحدة الخلية البلورية قد تترتب فى أركان شكل مكعبى أو منشورات رباعية قائمة بقاعدة مربعة أو غير مربعة أو منشورات معينة قائمة أو مائلة أو بأركان منشور سداسى قائم وبجانب تمركز الذرات فى الأركان قد يتمركز بعضها إضافياً فى وسط الشكل الهندسى أو فى مراكز الأوجه ولا يجب أن نتصور أن تمركز الأيونات فى هذه الأوضاع الهندسية يكون استاتيكياً أى تظل ساكنة فى هذه الأوضاع بل أنها تهتز حول هذه المواقع المتمركزة فيها ويتسع مدى الاهتزاز بارتفاع درجة الحرارة ويتضاءل بانخفاضها حتى أنها تصبح ساكنة عند الصفر المطلق تقريباً .

وسوف نقتصر فى دراستنا الموجزة هذه على ثلاثة أنواع هامة من طراز الخلايا التى تتبلور على نمطها معظم الفلزات العامة .

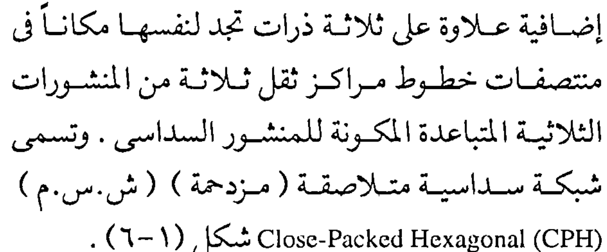
أولاً : أن تترتب الذرات لتحتل أركان مكعب علاوة على ذرة إضافية تأخذ مكانها فى مركز المكعب فيكون عدد الذرات المكون لوحدة خلية معزولة هو (٩) ذرات ويسمى هذا النوع بمكعب ذى تركيز بوسطه (م.ت.و) Body-Centered Cubic (BCC) شكل (١-٤) .



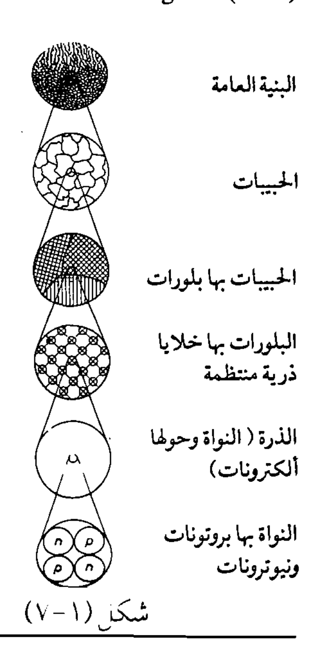
شكل (١-٤)   شكل (١-٥)

ثانياً : أن تترتب الذرات لتحتل أركان المكعب وبدلاً من وجود ذرة إضافية فى مركزه تأخذ ذرات إضافية أماكنها فى مراكز أسطح المكعب وتسمى بمكعب ذى تركيز بوسط أسطحه (م.ت.س) Face-Centered Cubic (FCC) شكل (١-٥) .

ثالثاً : أن تترتب الذرات لتحتل أركان منشور سداسى قائم وبمركز القاعدتين ذرة إضافية علاوة على ثلاثة ذرات تجد لنفسها مكاناً فى منتصفات خطوط مراكز ثقل ثلاثة من المنشورات الثلاثية المتباعدة المكونة للمنشور السداسى . وتسمى شبكة سداسية متلاصقة (مزدحمة) (ش.س.م) Close-Packed Hexagonal (CPH) شكل (١-٦) .



شكل (١-٦)



شكل (١-٧)

ولإمكان استيعاب ما تقدم نجد فى شكل (١-٧) تصوراً لتركيب المادة يبدأ فى (أ) شكل البنية العامة للفلز ، وفى (ب) الحبيبات مكبرة والتى تتكون منها البنية ويفصلها حدود حبيبات ، وإذا كبرت كما فى (جـ) نجد أن كل حبيبة تتكون من بلورات ، وإذا كبرت نجد الشبكة التى تتكون من خلايا (د) ، وإذا كبرت نجد أن الخلايا تمثل تجمع ذرات (أيونات) شكل (هـ) ، وأخيراً فى شكل (و) نواة من بروتونات وأيونات .

وكما ذكرنا أن طرز الخلايا التى تتبلور على نمطها الفلزات تؤثر فى تحديد خواصها الفيزيقية والميكانيكية فعلى سبيل المثال نجد أن الفلزات ذات الخلايا المكعبية بتركيز فى وسط أوجه مكعباتها بجانب أركانها (FCC) تتميز بسهولة تشكيلها على البارد وعلى الساخن (تكون لدنة) ويليها تلك التى تتبلور بخلايا مكعبية بتركيز فى وسطها بجانب أركانها (BCC) . أما تلك التى تتبلور صورة CPH المنشورية السداسية فهى أقلها فى قابلية التشكيل نسبياً .

أمثلة التبلور :

FCC النحاس – الألومنيوم – النيكل – الفضة – الذهب – حديد γ .

BCC حديد $\propto$ – فناديوم – موليبدينم – تنجستن – الكروم $\propto$.

CPH بريليوم – مغنسيوم – زنك – كادميوم – كوبلت .

فالحديد النقى مثلاً من درجة حرارة الجو إلى درجة 906°C (يسمى حديد $\propto$ Ferrite) يتبلور فى صورة مكعبات BCC ومن درجة 906 إلى 1401 (يسمى حديد γ Austenite) يتبلور فى صورة مكعبات BCC وفوق 1401 حتى درجة الانصهار (حديد γ Ferrite) يعود ثانية إلى المكعبات BCC مثل حديد $\propto$ وهى حالة تسمى بوليمورفيزم وكذلك إذا برد وعاد أدراجه ماراً بنفس التطورات عند نفس درجات الحرارة .

منصهر 1539 $\xrightarrow[BCC]{\delta}$ 1401 $\xrightarrow[FCC]{\gamma}$ 906 $\xrightarrow[BCC]{\propto}$ درجة جرارة الجو أو دونها

ومن ثم نجد أن الحديد يصعب تشكيله على البارد عن تشكيله فوق درجة حرارة ٩٠٦°م بسبب التغير من BCC إلى FCC بجانب تأثير درجة الحرارة فى الترابط الذرى فى خلايا بلوراته.

١-٤ استخلاص الفلزات (المعادن) الهندسية :

سنوجز فيما يلى أهم عمليات الاستخلاص التى تجرى على غفل الفلزات (المعادن) الهامة هندسياً .

١-٤-١ الفلزات (المعادن) الحديدية :

١-٤-١-١ إنتاج الحديد :

الحديد موجود فى القشرة الأرضية فى صورة غير نقية تتفاوت فى وجودها وتركيزها من موقع لآخر . فالحديد بسبب شراهته للاتحاد بالأكسجين وبعض العناصر الأخرى كالكبريت وغيرها يوجد فى صورة مركبات معها مثل أكسيد الحديد وكبريتيد الحديد ، ولذلك تتركز عمليات الحصول على الحديد النقى فى تخليصه من العناصر المتحدة معه . ورغم إمكان تخليص الحديد من الأكسجين والعناصر المتحدة معه صناعياً والحصول عليه شبه نقى إلا أنه ما يلبث أن يعاود الاتحاد معها كلما أتيحت له فرصة لذلك (صدأ الحديد) ليعود كما خلقه الله سبحانه وتعالى .

ويوجد الحديد فى القشرة الأرضية بأنواع الغفل (الخام الأرضى) Iron ores التالية .

١ - الهماتايت وهو أكسيد الحديد الأحمر . Hematite $Fe_2 O_2$ وهذا الغفل يعتبر أجود أنواع غفل الحديد إذ يحتوى على نحو ٧٠٪ حديد .

٢ - الليمونايت وهو أكسيد الحديد الأصفر أو البنى الهيدريتى (أى المتحد مع الماء بجانب الأكسوجين به نحو ٦٥٪ حديد Limonite $[Fe_2O_2x(H_2O)]$.

٣ - المجنتايت وهو أكسيد الحديد المغناطيسى به ٧٢٪ حديد Magnatite Fe_3O_4 .

٤ - السيديرايتوهو كربونات الحديد البنى Siderite $(FECO_3)(FeOCO_2)$ ويحتوى على نحو ٤٨٪ حديد .

وأهم الخامات الموجودة فى مصر هى الهماتايت - والليمونايت والمجنتايت حيث توجد فى أسوان وسيناء والواحات البحرية وساحل البحر الأحمر عند القُصير بوادى كريم .

وهناك عدة طرق لاستخلاص الحديد مبنية على أساس استخدام عنصر آخر أكثر شراهة للاتحاد بالأكسوجين من الحديد . وأكثر الطرق شيوعًا لاقتصادياتها هى باستخدام عنصر الكربون (الفحم) .

تفاعل مرحلة أولى $$FeO + C \xrightarrow{Heat} Fe + CO$$

تفاعل مرحلة ثانية $$FeO + CO \xrightarrow{Heat} Fe + CO_2$$

ويختار الكربون فى صورة الفحم الحجرى الخالى بقدر الإمكان من الشوائب مثل الكبريت والفسفور حتى لا تختلط بالحديد بعد تنقيته ويعرف هذا الفحم بالكوك (coke) وتكون للفحم وظيفتين :

١ - التسخين لدرجة الحرارة المناسبة للتفاعل فى مرحلتيه .

٢ - اختزال الحديد أى اتحاد كربون الفحم بالأكسيجين بنزعه من الحديد) .

ويصنف غفل الحديد ويقيم بقدر خلوه من وجود الفسفور به باعتباره عنصرًا ضارًا غير مرغوب فيه فغفل الحديد الجيد الذى تكون نسبة الفسفور به منخفضة لا تزيد عن ١ , ٠٪ أما إذا زادت عن ذلك فيعتبر الغفل رديئًا كما هو الغالب فى الأنواع التى تحتوى على نسبة قد تصل إلى ٢ , ٢٪ .

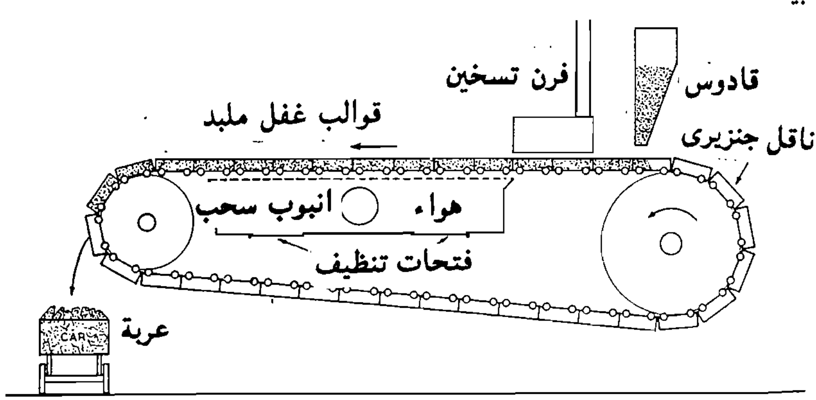
ويوجد غفل الحديد إما فى الطبقات السطحية أو فى الطبقات العميقة ويكون عادةً مختلطًا بالأتربة الأرضية مثل السيليكا والكوارتز والألومنيا . والحجر الجيرى وغيرها ولإعداد الغفل لعمليات الاستخلاص السابق الإشارة إليها والتى تجرى فى أفران خاصة لإتمام التفاعلات المطلوبة للحصول على الحديد النقى يحتاج الأمر إلى التخلص من الإتربة ومعظم الشوائب أى تركيز الغفل حتى يرتفع الأداءوالمردود لعملية الاستخلاص إلى الحديد المقبول وهو ما يسمى بعمليات تجهيز الغفل .

١ - ٤ - ٢ - تجهيز غفل الحديد :

تجرى عمليات تجهيز لتركيز الغفل تتلخص فى تكسير الأحجار الكبيرة من الغفل إلى أحجام صغيرة بالتكسير الميكانيكى ثم يتم غسل الكسر مع الأتربة العالقة فيتم التخلص من الأخيرة ثم يفرز لاستبعاد المواد غير الحديدية ويتم ذلك مغنطيسيًا أو باستخدام الفصل بالتعويم باعتبار المركبات الحديدية ذات وزن نوعى أعلى من الشوائب والأتربة الأخرى .

ثم يجرى التخلص من الرطوبة (ماء الغسيل) وثانى أكسيد الكربون بالتحميص Calcination فى أفران أو قمائن خاصة تعمل بالهواء الساخن لتبخير الماء وطرده بجانب التخلص من جزء كبير من الكبريت وثانى أكسيد الكربون . ثم يجرى تلبيد الغفلSintering خاصة المسحوق منه بتشكيله بالضغط والتسخين فى صورة قوالب بحجم مناسب يسهل

شحنها فى أفران الاستخلاص فيما بعد وبحيث يسهل مرور الغازات من حولها وشكل (١-٨) يوضح إحدى مكنات التلبيد والتى فيها يكبس الغفل (الذى يحتوى عادة على جزء من القار أو الفحم) فى قوالب متحركة تمر على فرن تسخين ثم فى مرحلة أخرى يتم نزع الأتربة الباقية لإعادة تلبيدها .



شكل (١-٨) وحدة تلبيد الغفل

١-٤-٣ - مبادىء استخلاص الحديد الخام Pig Iron :

يصعب استخــلاص الحديـد النقى عمليًــا إذ أن ذلك يتطلب عمليــات معقـدة غير اقتصادية هذا بجانب كون الحديد النقى ليست له خواص فيزيائية مفيدة من الناحية الهندسية فهو طرى لايحتمل الشـد كثيرًا ومقاومته للصدأ والتآكل ضئيلة ولـذلك فليس له أى استخدام هندسى على الإطلاق ، أما الحديـد الذى نستخدمه فى حياتنا اليومية فهـو فى كل أنواعه عبارة عن سبيكـة (خليط) بين الحديد النقـى والكربـون أسـاسًا بنسب تتراوح بين ١ , ٠ ٪ إلى نحـو ٣,٧ ٪ مع بعض العنـاصر الأخرى بنسب ضئيلـة جدًا مثل السيليكون والمنجنيـز والكبريت والفسفور . ولو أن هذه العناصر الأخيرة تكون فى صور شوائب (لضآلة نسب وجودها) إلا أن بعضها يكون مفيدًا فى وجوده مثل السيليكون والمنجنيز بينما يكون البعض الآخر مثل الفسفور والكبريت فى غالب الأحيان ضـارًا لذا يعمل على الإقلال فى وجودهـا بقدر الإمكان اللهم إلا فى ظروف خاصة بغية الحصول على بعض خواص شاذة لاستخدامات معينة .

ولتبسيط هذه الدراسة يمكن اعتبار الحديد المستخـدم هندسيًا بمعظم أنواعه هو سبيكة بينه وبين الكربون فى المقام الأول .

ولتبسيط هذه الدراسة يمكن اعتبار الحديد المستخدم هندسيًا بمعظم أنواعه هو سبيكة بينه وبين الكربون في المقام الأول .

ولذلك لاتهدف عمليات الاستخلاص إلى الحصول على الحديد نقيًا تمامًا بل الحصول عليه متسابكًا (أى مذابًا به نسبة معغينة من الكربون) .

ولما كان معظم الغفل المستخدم هو أكسيد حديد فإنه يمكن اختزاله بمادة أكثر شراهة للاتحاد بالأكسجين فتختزله من أكسيد الحديد وتتركه شبه نقى وهذه المادة هى الكربون كما سبق التنويه إليه فى معادلات التفاعل فى المرحلتين الأولى والثانية . ويكون إدخال الكربون فى عمليات الاستخلاص فى صورة فحم الكوك الذى يقوم أولاً بإمداد الحرارة اللازمة للتفاعل ثم بالاتحاد بالأكسجين لتكوين أول أكسيد الكربون وكذلك الاتحاد جزئيًا بالحديد مكونًا لمركب كربيد الحديد Fe_3C (المسمى بالسمنتايت) وكربيد الحديد يكون شأنه شأن كل المركبات المعدنية قصيف (هش) صلد وبالتالى فبازدياد نسبة وجوده تزداد صلادة الحديد ومقاومته للإجهادات (تحمل الإجهادات Strength) ومقاومة الصدأ والتآكل وبالتالى فزيادة نسبة الكربون فى الحديد تعنى تحسن خواصه الميكانيكية فى الشد والضغط على حساب لدونته ومطيليته Ductility وطروقيتهMalleability أو قابليته للتشكيل بصفة عامة . وعلى هذا الأساس تنقسم أنواع الحديد إلى نوعين رئيسيين :

١ ـ حديد صلب(فولاذ) Steelوبه تتراوح نسبة الكربون من ١ , ٠ ٪ حتى ٢ ٪ .

٢ ـ حديد صب (زهر) وتتراوح نسبة الكربون بين ٥ , ٢ ٪ ، ٧٥ , ٣ ٪ .

وحديد الصلب يعتبر لدنًا نسبيًا يمكن تشكيله بكل وسائل التشكيل على البارد وعلى الساخن كالحدادة والكبس والسحب والدرفلة وخلافه . بينما يعتبر حديد الزهر قصيفًا (هشًا) لايمكن تشكيله بأى حال من الأحوال سواءًا على البارد أو على الساخن إلا أنه يمكن تشكيله بالصهر والصب فى قوالب بالشكل المرغوب ولذلك سمى حديد الصب أوالزهر .

وتوجد أنواع عديدة من حديد الصلب (أو الصلب فقط أو الفولاذ) تتفاوت فى نسب تكوينها وبالتالى فى خواصها واستخدامها فمثلاً حديد التسليح المعروف هو حديد صلب به نسبة كربون تبلغ ١ , ٠ ٪ ، ٢ , ٠ ٪ كربون ، بينما محاور الإدارة والأعمدة وقضبان السكك الحديدية تبلغ نسبة الكربون فيها نحو ٤ , ٠ ٪ أما العدد القاطعة فهى من الصلب الذى يحتوى على كربون بين ٦ , ٠٪ إلى ١٪ كربون . أى أنها كلها أنواع من الصلب ولايوجد شيء

إسمه الحديد عمليًا . والفارق الرئيسى بين حديد الصب (الزهر) والصلب هو أساسًا فى نسبة الكربون فى المقام الأول ثم نسب الشوائب الأخرى فى المقام الثاني ولاتستخلص أنواع الصلب أو حديد الزهر مباشرة من الغفل كما قد يتصور المرء بل يستخلص الحديد الخام Pig Iron فى المرحلة الأولى ، وهو حديد ليس له استخدام مباشر بل يحول هذا الحديد الخام إلى حديد زهر أو حديد صلب كما سيأتى شرحه .

١-٤-٤- إنتاج الحديد الخام Pig Iron :

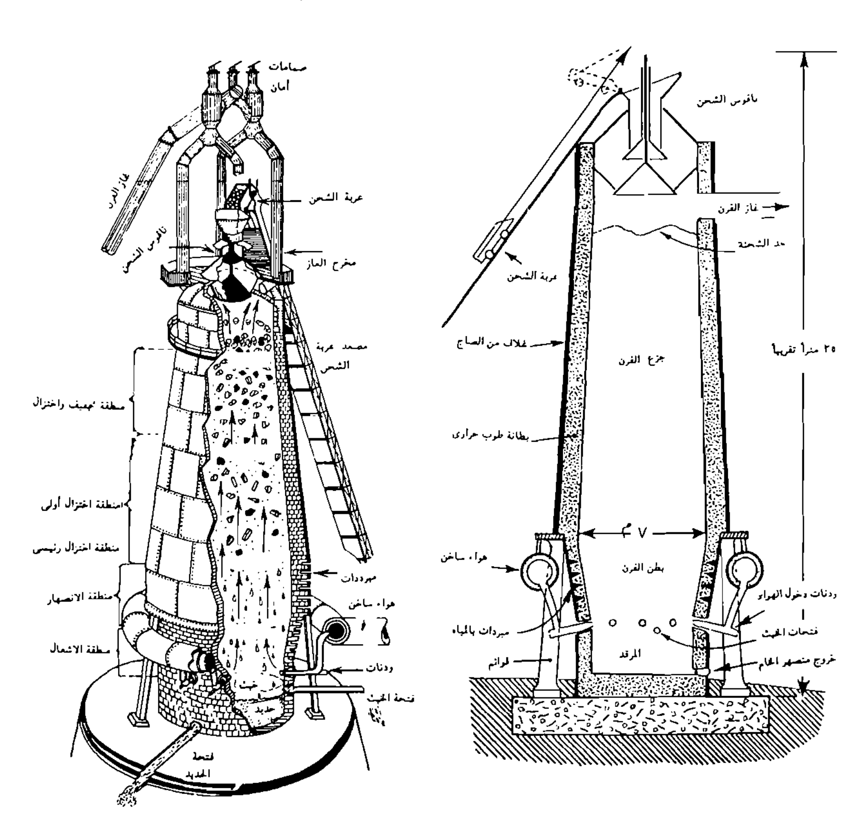
يجرى استخلاص الحديد الخام من غفل الحديد فى أفران خاصة وتحويله إلى حديد خام كمرحلة أولى . وتتم عملية الاستخلاص هذه فى غالب الأحيان فى الأفران العالية (اللافحة) وفى نادر الأحيان مايستخلص الحديد الخام فى الأفران الكهربائية . ولو أن هناك بعض الطرق الأخرى التى بدأت تدخل مجال الاستخدام فى استخلاص الحديد الخام باستخدام غازات مختزلة ساخنة مثل الأيدروجين والميثان وأول أكسيد الكربون والغاز الطبيعى . وقد تختلف وسائل تسخين الغفل فى هذه الطرق فتستخدم الوسائل الكيميائية بإحراق فحم الكوك (إلى ثانى أكسيد الكربون) وتوليد كمية كبيرة من الحرارة كما فى الفرن العالى وتستخدم الطاقة الكهربائية فى التسخين فى الأفران الكهربائية إلا أن اختزال أكسيد الحديد يتم بأسلوب واحد فى الطريقتين وذلك باستخدام كربون فحم الكوك لينتزع الأكسجين من أكسيد الحديد . أى أنه لابد من استخدام فحم الكوك فى كلتا الطريقتين للاختزال فقط تزداد كمياته المستهلكة فى الفرن العالى نظرًا لاستخدامه فى التسخين بجانب الاختزال .

١-٤-٥- استخلاص الحديد الخام فى الفرن العالى :

يوضح شكل (١-٩) مقطعًا للفرن العالى المستخدم فى استخلاص لحديد الخام من غفل الحديد . وهو يتكون من أربعة أجزاء رئيسية :

١ - غرفة الشحن فى القمة على هيئة ناقوسين على التوالى لإمكان إدخال الشحنة داخل الفرن مع منع هروب الغازات .

٢ - مخروط ناقص مبنى بالطوب الحرارى المغلف بالصاج من الخارج .

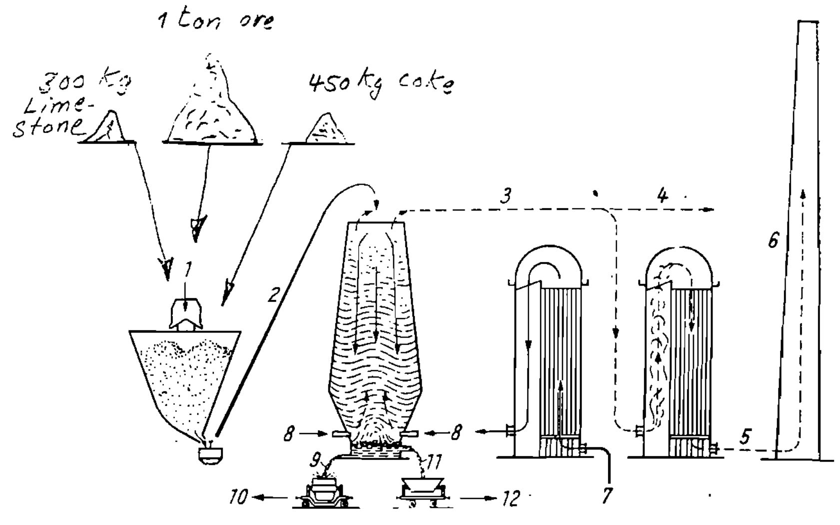


شكل (١-٩) مقطع من الفرن العالى لإنتاج الحديد الخام

٣ - مخروط ناقص قصير مقلوب متحد بقاعدته مع المخروط الأول الطويل وهو مبنى أيضًا بالطوب الحرارى المغلف بالصاج من الخارج ويحيط بهذا المخروط أنبوب حلقى لتغذية الفرن بالهواء المضغوط الساخن من خلال فتحات (ودنات) Tuyeres عند قاعدة هذا المخروط عددها يبلغ نحو ١٦ فتحة بقطر نحو ١٥٠ مم .

٤ - جزء اسطوانى مبنى بالطوب الحرارى المغلف بالصاج . وهذا الجزء يمثل وعاء تجمع للمعدن المنصهر والخبث ويسمى هذا الوعاء المرقد (Bed).

ولاتقتصر وحدة الفرن على ما ذكر بل يوجد هناك ملحقات متممة له مثل وحدة الشحن ووحدة التفريغ للمنصهر والخبث ثم وحدة تلقى الغازات الناتجة وتنقيتها والاستفادة بحرارتها فى تسخين الهواء الداخل للفرن (١-١٠).



شكل (١-١٠) شحنات ووحدات الفرن العالى

١ - غفل الحديد	٢ - الشحن	٣ - خروج الغاز
٤ - غاز فرن غير مستفاد به	٦ - إلى المدخنــــة	٦ - المدخنـــــة
٧ - هواء بارد	٩ - هواء ساخن	٩ - خام منصهر
١٠ - بوادق جمع منصهر	١٢ - الخبث	١٢ -نقل الخبث

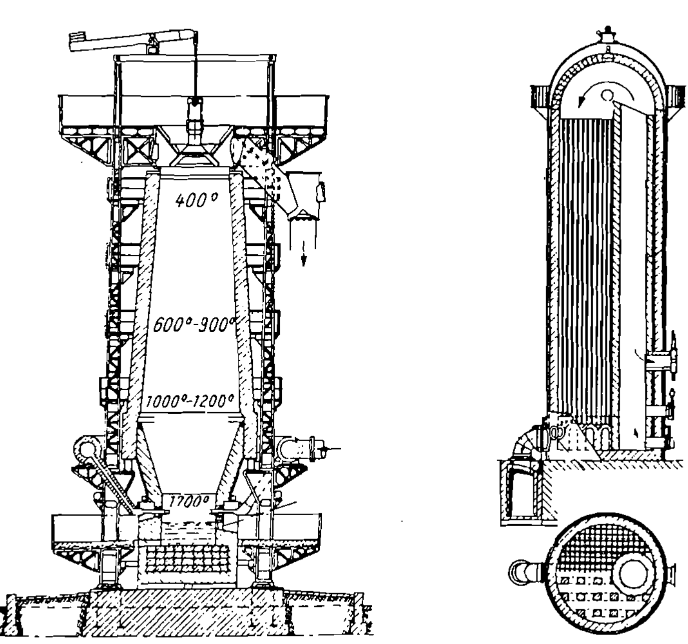
وتقع نسب الشحنات فى الحدود التالية :

١٠٠٠ طن غفل حديد - ٤٥٠ طن كـوك - ٢٥٠ طن حجر جيرى - ٣٦٠٠ طن هواء وينتج من هذه الشحنات :

٥٠٠ طن حديد خام - ٧٥٠ طن خبث - ٣٢٥٠ طن غاز الفرن العالى .

ويشحن الحديد الغفـل والكوك وحجر الجير وهى كلهـا مواد جـامدة فى صـورة طبقات متتابعـة ويكون الفـرن دائماً مملوءًا بـالشحنات على مـدى كل ارتفاعـه طول الـوقت وتفضل التغذية بالهواء الساخن عن الهواء البارد لأنـه يوفر استهلاك الكوك بما يعادل ٧٠٪ ويؤدى إلى صغر حجم الفرن بالتالى لكمية إنتاج معينـة وتكون درجة الحرارة المحسوسة الموجودة بغازات الفرن العـادمة بالإضـافة إلى الحرارة الناشئة من احتراق أول أكسيـد الكربون الموجـود بغازات العادم . أمـا حجر الجير ففائدتـه الاتحاد مع بقايا تفـاعل الغفل وأكسـجين الهواء (أى خبث الحديد) وتكوين خبث سيل يسهل إزالتـه هذا بجانب حدوث بعض التفـاعلات بين الحديد المنصهر والخبث السيل الطـافى فوق سطحه ، تتحدد نتيجـة لهذا التفاعل العديـد من خواص الحديد الخام الناتج كما سيأتى إيضاحه فيما بعد .

وبمراقبة الفرن من نقطة دخول الهواء الساخن نجد أن أكسجين الهواء يحرق الكربون الموجود فى الكوك مولدًا قدرًا كبيرًا من الحرارة وتتصاعد غازات الاحتراق التى هى أول وثانى أكسيد الكربون وهى ساخنة إلى أعلى مقابلة الشحنات الهابطة . والشكل (١-١١) يوضح تدرج درجات حرارة الشحنة من قمة الفرن إلى قاعه ويمكن تقسيم الفرن إلى مناطق أربعة رئيسية :



شكل (١-١١) توزيع درجات الحرارة فى الفرن العالى ومسخن الهواء

المنطقة الأولى : وهى فى قمة الفرن وتقع مباشرة تحت باب الشحن وتتراوح درجات الحرارة عندها بين ٢٥٠ ، ٥٥٠م . وفيها تفقد الشحنة كل رطوبتها « تتحمص » وتصبح مسامية . ويبدأ اختزال جزئى ضئيل بفعل أول أكسيد الكربون الساخن المتصاعد مع ثانى أكسيد الكربون .

$$FeO_4 + 3CO = 2Fe + 3CO_2$$

المنطقة الثانية : وتبلغ درجة الحرارة عندها بين ٥٥٠ ، ٨٥٠م . ويستمر اختزال الغفل بأول أكسيد الكربون كما يلى على الترتيب نزولاً من القمة إلى أسفل :

$$Fe_2O_3 + 3CO \longrightarrow 2Fe + 3CO_2$$

$$FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2$$
$$FeO + C \longrightarrow Fe + CO$$

المنطقة الثالثة : وتبلغ درجات الحرارة عندها بين ٨٥٠م ، ١١٥٠م . وعندها يتم الاختزال الرئيسى للغفل بواسطة كربون الفحم ويتحول الغفل المختزل إلى كتل أسفنجية تعرف بالحديد الأسفنجي وهو حديد يكاد يكون نقيًا ومنخفضًا للغاية فى نسبة كربونه ويتحول هذا الحديد عند قاع هذه المنطقة إلى منصهر تتساقط قطراته فى المرقد فى قاع المنطقة الرابعة بجانب تحلل الحجر الجيرى وتفاعل بخار الماء مع الكربون :

$$Fe + CO_2 \longrightarrow FeO + CO$$
$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$
$$H_2O + C \longrightarrow H_2 + CO$$

المنطقة الرابعة : وعندها يتم احتراق الفحم بأكسجين الهواء الساخن الداخل من الودنات وهى منطقة المخروط السفلى وتبلغ درجة الحرارة فى هذه المنطقة حدها الأقصى وهى نحو ١٩٠٠م . ويتم كذلك اختزال جزء من الشوائب الموجودة فى الحديد مثل المنجنيز والسليكون والكبريت والكالسيوم .

$$FeO + C \longrightarrow Fe + CO$$
$$MnO + C \longrightarrow Mn + CO$$
$CaO + AI_2O_3 + SiO_2 \longrightarrow$ خلائط سليكات
$$SiO_2 + C \longrightarrow Si + 2CO$$
$$FeS + CaO \longrightarrow CaS + Fe + CO$$

وتتجمع منتجات التفاعلات مع تراب الفحم لتكون الخبث الذى يطفو فوق الحديد المنصهر فى المرقد فى قاع الفرن حيث تبلغ دجة الحرارة نحو ١٥٠٠م. وتسمى المنطقة الرابعة بمنطقة الاحتراق لاشتعال الفحم بها .

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO$$
$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

ولوفرة وجود الكربون وارتفاع درجة الحرارة يعود ثانى أكسيد الكربون للتفاعل مع الكربون لتكوين أول أكسيد الكربون .

$$CO_2 + C \longrightarrow 2CO$$

وعند انصهـار الحديد الاسفنجى عند قاع المنطقـة الثالثة ومـروره على الفحم المتوهج فى المنطقة الـرابعة (منطقة الاشتعـال) فإنه يكتسب منـه قدرًا كبيرًا من الكربـون أى يتحول من حديد نقى إلى حديد متسابك معه كربون وكلما زادت نسبة الكربون فى الحديد كلما قلت درجة انصهاره (درجة انصهـار الحديد النقى ١٥٣٩ م) فيصبح حديدًا سيـلا فى انصهاره يتجمع فى قاع المرقـد ويطفو فـوقه الخبث المتجمع وبـالتالى يمكـن سحب الحديد من فتحـة بالقـاع أما الخبث فيسحب من فتحـة أعلى منهـا بنحو ١,٥ متر ويسحب الحديـد على فترات بين ٥,٦ سـاعات أمـا الخبث فيسحب كل ٣ ساعـات ويستخدم الخبث فى صنـاعات عـديدة منهـا الأسمنت الحديدى أما الغـازات فيستفاد بها بعد تنقيتها من الأتـربة فى تسخين هواء الاحتراق وأغراض أخـرى (١-١٠) . وبغض النظر عـن التفاعـلات السابقة والتـى تنحصر فى اختزال الحديد الخام من أكاسيده وكذلك ما يصاحبه من عناصر أخرى بالاختزال من أكاسيدها ، فإن هذه التفاعـلات رغم أهميتها لاتلعب دورًا أساسيًا فى تحديد خـواص الحديد الخام الناتج من الفرن قدر ما يلعب التفاعل النهائى بين المعدن المنصهر فى المرقد والخبث الطافى فوق سطحه . فعلى نوع الخبث النهائى يتوقف التفاعل الحادث وكـذلك نوع الحديد الخام . والخبث قد يكون حامضيًاAcidic درجـة انصهـاره نحـو ١١٥٠م. حينئـذ يسمى الاستخـلاص بـالأسلـوب الحامضى وقد يكـون الخبث قاعديًـا فيسمى الأسلوب قاعـديًاBasic (درجـة حرارة انصهـار الخبث القاعدى بين ١٢٥٠ - ١٣٥٠م.) .

١-٤-٦- مساعدات الصهر :

وتتكـون أساسًـا من حجـر الجير الحى CaO النقى ويضـاف إليه الفلـورسبار (فلـوريد الكالسيوم CaF_2) لـلاتحاد بالشـوائب وبقصد خفض درجـة انصهار الخبث وبـالتالى زيـادة سيولته فيسهل سحبه من فتحـة خروج الخبث وأحيانًا يضاف هيدروكسيـد الألومنيوم المعروف باسم Bauxite وهـو يستخدم لاستخـلاص أنواع خـاصة من الحديـد الخام ويعوض وجـود الفلورسبار فى الأفران القاعدية .

١-٤-٧- نواتج الفرن العالى :

تنقسم نواتج الفـرن العالى إلى نواتج أسـاسية وأخـرى ثانويـة فالحديد الخام هـو الناتج الأسـاسى Main Product بينمـا المنتجـات الأخـرى وهى الخبث وغـاز الاحـتراق فهى ثانوية By-Products .

أولاً - الحديد الخام Row or Pig Iron :

يخرج الحديد الخام من فتحة خاصة فى أسفل المرقد عند قاع الفرن فى حالة منصهرة فيصب فى قنوات ويترك فيها ليتجمد ويبرد أو يُصب فى أوعية خاصة مبطنة بالطوب الحرارى تُعرف باسم (البوش Ladles) وينقل فيهاإلى أماكن تحويله إلى صلب كما سيأتى الإشارة إليه :

والحديد الخام الذى يُصب فى قنوات ويتجمد فيها يأخذ شكل كتلة تشبه التماسيح ولذلك يُطلق عليها تماسيح الحديد الخام ويعبر عنها بالإنجليزية بالتعبير Pig Iron نظرًا لتشابهها بالخنزير . وهذا الحديد لا يصلح للاستخدام فى الصناعة مباشرة لأن خواصه الميكانيكية رديئة فهو قَصيف (هش) لا يتحمل إجهادات الشد أو الصدمات وخلافه وذلك بسبب ارتفاع نسبة وجود كربون به بجانب الشوائب الأخرى مثل السليكون والمنجنيز والكبريت والفسفور وهذه الشوائب تؤثر بدرجة كبيرة مباشرة على خواص الحديد الخام وخاصة العنصرين الأخيرين . وفيما يلى صورة تقريبية لتركيب بعض الأنواع الهامة للحديد الخام :

نوع الحديد	كربون ٪	سيليكون ٪	منجنيز ٪	كبريت ٪ أقل من	فسفور ٪
حديد حامض	٤,١٥-٤,٤	٠,٧-٢,٢٥	٠,٥-٢,٥	٠,٤٥	٠,٠٤-٠,١
حديد قاعدى	٤,١-٤,٤	أقل من ١,٥	٠,٢-٠,٤	٠,١٥	٠,١١-٠,٩
حديد مسبك	٣,٠٠-٤,٥	٠,٥-٤,٠	٠,٢-١,٥	٠,٠١-٠,١	٠,١- ٢,

وكما سبق الإشارة إليه يعتبر الكربون أهم العناصر المتسابكة مع الحديد والتى تتحكم إلى حد بعيد فى خواصه الميكانيكية ، والكربون قد يتسابك مع الحديد بأسلوب الاتحاد معه كيميائيًّا مكونًا مركب كربيد الحديد المعروف باسم السمنتايت Fe_3C وهو مركب صلد وقصيف (هش) وبالتالى فوجوده يكسب الحديد الخام هذه الخواص وقد يوجد الكربون فى صورة منفصلة دون أن يتَّحِد مع الحديد فيوجد فى صورة قشور جرافيتية وبالتالى لا يكون هذا الحديد الأخير المحتوى على القشور الجرافيتية قصيفًا أو صلدًا بالقدر الذى يتصف به النوع الأول علاوة على أن الجرافيت المنفصل يكسب مقطع الحديد لونًا

رماديًّا ولذلك يطلق على هذا الخام : الخام الـرمادى Gray Pig Iron بعكس النـوع الأول من الخام المتحد بـه الكربـون فى صورة كـربيد حـديد فلـونه أبيض ويسمى هـذا الحديد بـالغفل الأبيض White Pig Iron .

ثانيا - المنتجات الثانوية :

الخبث : الخبث رغم أنه مُنتَج ثانـوى إلا أنه يُستخدم فى عدة أغـراض أهمها الرصف فى بعض المصانع ومحطات السكك الحديد نظرًا لتحملـه البرى لفترة طويلة ولا يحتاج الرصف به للتجديد لفترة طـويلة بجانب مقدرتـه على العزل الحرارى والصوتى . ويمكن أن يحول الخبث إلى خيوط صناعيـة رفيعة وذلك بإمرار بخار المـاء باندفاع على الخبث المنصـهر أثنـاء إخراجه من الفـرن وتسمى هـذه الخيـوط بالصـوف الخبثى Slag Wool ومن أهم خـواصـه العـزل الحرارى ولذلك يستخـدم فى تبطين الأفران والثلاجات . ويمكن استقبـال الخبث المنصهر من الفـرن فى بحيرة من المـاء البـارد فيبرد فجأة ويتفتت لقصـافته ثم يُسحق ويصنع منـه أسمنت حديدى Blast Furnace Cement وهو خليط بين مسحوق الخبث والأسمنت البـورتلاندى المعتـاد وكـذلك يُصنـع من هـذا المسحـوق الطـوب الخبثى للمنشـآت الهامـة التى تتعـرض للإجهادات وارتفاع درجة الحرارة إلى حدود متوسطة .

١-٤-٨- غازات الفرن العالى :

وهى تتكون من غازات أكـاسيد الكربون والنيتروجين والهيدروجين والميثان بـالإضافة إلى بعض الأتربة المعلقة مع هذه الغازات ومعظم هذه الأتربة عبارة عن أكاسيد .

كان ذلك وصفًا مـوجزًا لطريقة استخلاص الحديد الخام من غفل الحديـد بواسطة الفرن العـالى وتعتبر هـذه الطريقة أهم الطـرق من ناحيـة الإنتـاج الكمى والاقتصـادى إلا أن ذلك لا ينفى وجود طرق أخـرى للاستخلاص لا تقل أهمية على الأقل على مستـوى الكيـف (جودة الحديـد المنتج) وهى الطـرق الكهـربـائية والاستخـلاص بـالاحتراق المبـاشر مع الأكسيجين واستخلاص الحديد فى الفرن الدوار .

١-٥- تحويل الحديد الخام إلى حديد صالح للصناعة :

علمنـا أن الحديـــد النقى ليس لـه أى استخـــدام على الإطـلاق فى أى مجال من مجالات الصناعة .

والشائع بصفة عامة وبدون استثناء هو استخدام سبائك (خلائط) من الحديد وعناصر أخرى مثل الكربون والسيليكون والمنجنيز مع بعض الشوائب من الكبريت والفسفور وهذه العناصر وأهمها الكربون تحدد إلى قدر كبير خواص سبيكة الحديد الناتجة . وتعتبر أهم سبائك الحديد هى :

١ - حديد الصلب وهو سبيكة بين الحديد النقى والكربون (بنسب تختلف باختلاف نوع الصلب) مع نسب ضئيلة جدًا من بعض العناصر الأخرى كالسيليكون والمنجنيز وآثار من الكبريت والفسفور .

٢ - حديد الزهر أو حديد الصب Cast Iron وتتراوح نسبة الكربون فيه بين ٥ , ٢ ، ٧٥ , ٣٪ مع بعض العناصر مثل السيليكون والمنجنيز بجانب آثار من الكبريت والفسفور أى أن الاختلاف الرئيسى بين النوعين الرئيسيين من سبائك الحديد وهما حديد الصلب وحديد الزهر هو أساسًا فى نسبة الكربون به فكلما ازدادت زادت معها صلادة الحديد ومقدار مقاومته للإجهادات وكذلك قابلية تشكيله بالسحب والشد والطرق والضغط وعند ازدياد الكربون إلى قدر كبير كما فى حديد الزهر تزداد قصافته (هشاشته) وتقل متانته .

وبالتالى فلكى نحصل على حديد الصلب من الحديد الخام نحتاج إلى التخلص من معظم الكربون والعناصر الأخرى الموجودة فى الحديد الخام كشوائب وكذلك الحال بالنسبة لإنتاج الحديد الزهر فقط يصير التخلص من معظم الكربون ثم إعادة الكربنة إلى المستوى الذى يتفق ونسبة وجودة فى الحديد الزهر المطلوب .

١-٥-١- إنتاج حديد الصلب Production of Steel :

يمكن أن يتم التخلص من معظم الكربون والعناصر الأخرى بحرقها أو أكسدتها فتتأكسد هذه العناصر لقابليتها للاتحاد بالأكسجين أكثر من الحديد وهى على الترتيب : السليكون والمنجنيز والكربون والفسفور . ويمكن أن يتم ذلك بتعريض الحديد الخام لجو غنى بالأكسجين فى درجة حرارة مرتفعة فتحترق هذه العناصر وتترك الحديد فقيرًا فيها فيصبح لدنًا (طريًّا) سهل التشكيل (قابلا للطرق والسحب والضغط) ويطلق على هذا الحديد Wrought Iron أى الحديد الطروق فقيرًا فى الكربون ويمكن زيادة نسبة كربونه حسب الحاجة لتحويله إلى الأنواع الأخرى من الصلب الأكثر صلادة كصلب العدد القاطعة وذلك يتم فى بواتق خاصة بذلك .

وفيما يلى استعراضًا موجزًا لطرق تنقية الحديد الخام وتحويله إلى صلب طروق أو صلد .

١-٥-١-١- طريقة فرن التقليب لصناعة الصلب Puddle Furnace :

هذه الطريقة أصبحت محدودة الاستخدام والمبدأ المستخدم فيها هو اختزال الكربون بالأكسجين الموجود بالحديد الغفل Iron Ore أى بإضافة غفل الحديد (الهماتيت) إلى الحديد الخام الخارج من الفرن العالى فتوضع الشحنة ($\frac{١}{٢}$ إلى $\frac{٣}{٤}$ طن) المتكونة من كل من غفل الحديد والحديد الخام من فتحة جانبية بالفرن فى حوض من الطوب الحرارى المبطن بالطين الحرارى (بطانة قاعدية فى المعتاد) ويسمى هذا الحوض المرقد (يبرد من الخارج بالماء) وتمرر غازات احتراق ساخنة فوق المرقد ليصهر الشحنة وهذه الغازات تتولد من احتراق وقود الفحم الحجرى أو المازوت أو وقود غازى فى غرفة احتراق تقع بجانب المرقد ويقوم الوقود الغازى بمهمة التسخين حتى الانصهار ثم تخرج الغازات بعد ذلك عن طريق المدخنة للخارج . وبمجرد انصهار الشحنة يبدأ أكسجين الغفل فى حرق معظم كربون الخام ويحوله إلى ثانى أكسيد الكربون ليخرج مع غازات الاحتراق بجانب حرق بعض العناصر الأخرى وتحويلها إلى خبث يطفو فوق سطح المنصهر .

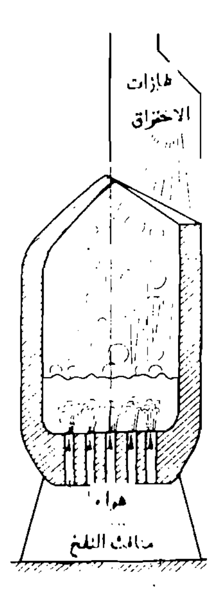
١-٥-١-٢- طريقة المحولات Converters Method :

فى هذا الأسلوب من التحويل يتم اختزال الكربون فى خام الحديد باستخدام الهواء أو غاز الأكسجين النقى وذلك بنفخها فى خام الحديد المنصهر فيتولى الأكسجين حرق الكربون والعناصر الأخرى وتتولد عن هذه العملية كمية كبيرة من الحرارة تكفى للمحافظة على درجة حرارة الشحنة أى لا يتم تبريدها بالنفخ بل يعوض التبريد بالحرارة المتولدة من الاحتراق وقد تصل به إلى ارتفاع مفرط غير مرغوب فى درجة الحرارة لذلك تضاف نسبة محدودة (حوالى ١٠٪ من خردة الحديد) حديد قديم متأكسد (للإقلال من ارتفاع درجة الحرارة) وتنقسم طريقة المحولات إلى ثلاث طرق :

١-٥-١-٣- طريقة محول بسمر الحامضى Bessemer Acidic Prccess :

هذا المحول عبارة عن إناء كمثرى الشكل (شكل ١-٢) مصنوع من ألواح الصلب ذى فوهة معوجة وقاع هذا المحول به فتحات يدخل منها هواء النفخ وهذا المحول مبطن ببطانة

حـامضية (سليكـا) ومن أهم عيوبها عـدم إمكان التخلص من المواد الحامضيـة كالفسفـور والكبريت ويسمى الصلب الناتج بصلب بسمر وتبلغ سعة المحول نحو ٤٠ طن .



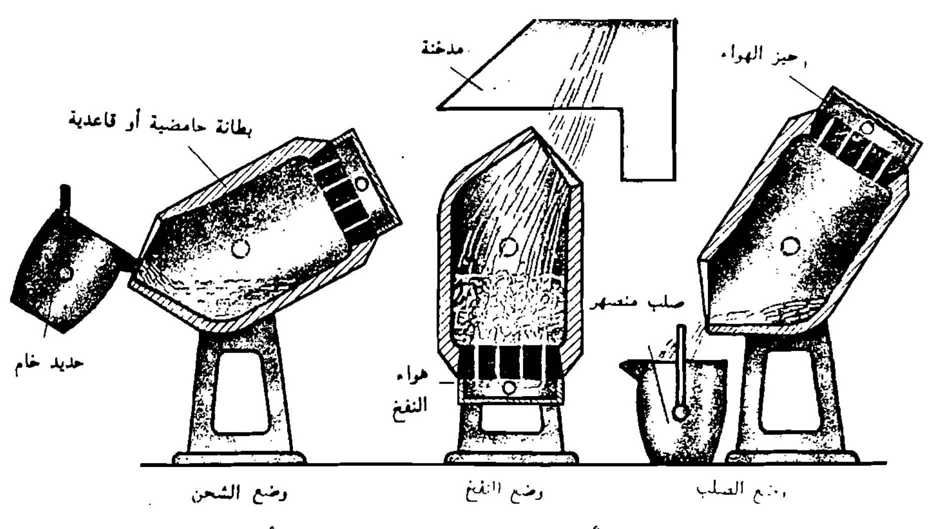
شكل (١-١٢) محول بسمر لصناعة الصلب

١-٥-١-٤- طريقة محول توماس القاعدى Thomas Basic Process :

وتسمى أيضًا بطريقة بسمر القاعدية لأن المحول المستخدم هو نفس محول بسمر السابق شكل (١-١٢) ولكن تـوماس قد طـوره بحيث تكون بطـانته قـاعدية للتخلـص من العناصر الحامضية كالفسفـور والكبريت ويسمى الصلب الناتج من هذا المحـول بصلب توماس ولهذا السبب تعتبر هذه أكثر طرق المحولات شيوعًـا فى الوقت الحاضر وتبلغ سعة المحول نحو ١٠٠ طن ويختار لمحولات تومـاس فى المعتاد حديد خام غنى بالفسفـور (٢٪فسفور) يكون منصهرًا فى درجة حرارة تبلغ ١٣٠٠م . وترتفع درجة حرارته داخل المحول أثناء النفخ إلى ١٦٠٠م .

تشغيل المحول :

يـوضع المحـول فى الـوضع الأفقـى (يـدار حـول محوره) شكل (١-١٣) حيث يشحن بالحديـد الخام المنصهر (مع خردة الصلب) ثم يفتح صمام هواء النفخ فيـدخل من الفتحات السفلى (فى قاع المحـول) وتخرج من فوهـة المحول مـارة با لمنصهـر ثم يدار المحـول فى وضعه



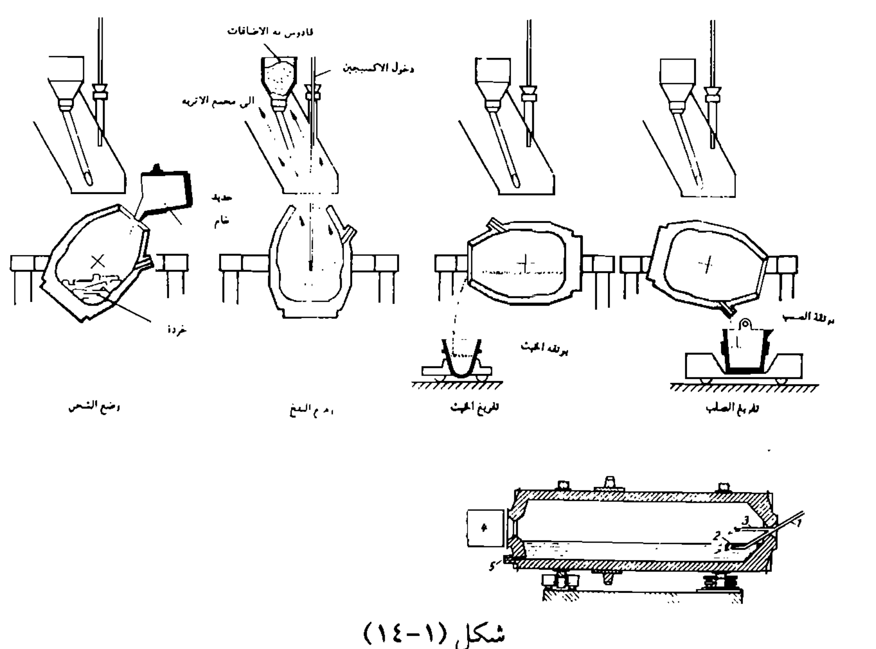
شكل (١-١٣) أوضاع تشغيل محول بسمر القاعدى أو توماس

الرأسى فيمر هواء النفخ خلال الحديد المنصهر ويبدأ التفاعل بحرق الكربون والعناصر الأخرى وكذلك التفاعل مع بطانة المحول حسب نوعها حامضية أو قاعدية وتكوين الخبث ويستمر هذا الوضع نحو ١٥-٢٠ دقيقة تنتهى بانتهائها التفاعلات المطلوبة ويستدل على ذلك من ملاحظة لون اللهب الخارج من فوهة المحول ويمكن التحكم فى نسبة الكربون المطلوبة فى الصلب الناتج بالتحكم فى زمن التفاعل المذكور أى فى زمن النفخ (إذا أريد خفضه) ، ولجمع هذه الأكاسيد يضاف مقدار من حجر الجير المحروق يعادل ١٥٪ من الشحنة لتكوين الخبث وتدوم مرحلة النفخ والتفاعلات ما يقرب من ٢٠ دقيقة . وبعد الانتهاء من الاختزال يدار المحول ثانية للوضع الأول حيث تصب الشحنة فى قوالب (سبكات Ingots) يتم دلفنتها فيما بعد .

١-٥-١-٥- **طريقة لينس دونافيتس Lins-Donavitz Process** المعروف باسم **LD :**

فى هذه الطريقة يستخدم محول كالسابق فقط يستعاض عن هواء النفخ بأكسجين نقى عن طريق أنبوب نفخ من فوق سطح المنصهر شكل (١-١٤) وبالتالى يمكن تجنب عيوب النفخ بالهواء وأهمها : إثراء الصلب بالنتروجين . ولذلك يتصف الصلب الناتج من طريقة LD بنقاوته وجودة خواصه الميكانيكية . ويمكن فى هذه الطريقة الاستعاضة عن المحولات من نوع بسمر وتوماس بمحول أفقى يتيح كشف مساحة سطحية أكبر للمنصهر فيسهل على الأكسجين الاختزال فى وقت أقصر وبطريقة أكفأ شكل (١-١٤) ويسمى هذا المحول

بالمحول الدوار لأنه يدور حول محوره أثناء العمل ويدخل الأكسجين من أنبوب جانبى (١) يتفرع بعد ذلك إلى فرعين الأول (٢) ينفخ من تحت سطح المنصهر (الأكسجين الابتدائى والثانى (٣) ينفخ من فوق سطح المنصهر (الأكسجين الثانوى) وهناك فرن مناظر يستخدم نفخ الأكسجين على السطح ، وبهذه الطريقة يمكن إنتاج أنواع من الصلب فقيرة فى عناصر الكربون والفسفور والكبريت والنيتروجين . ويمكن الاستفادة به مباشرة بالدلفنة إلى منتجات نصف مصنعة أو إعادة معالجته فى أفران الصلب الأخرى مثل سيمنز مارتن Siemens- Martin لإنتاج أنواع أعلى فى الجودة .



شكل (١-١٤)

إنتاج الصلب بالنفخ بالأكسجين (طريقة لينس ودونافيتس LD)

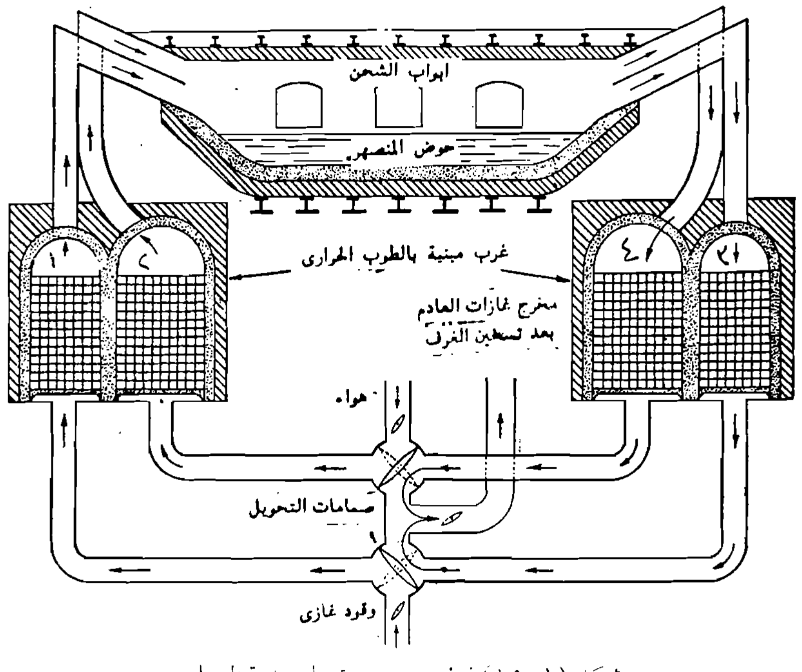
١ - أكسيجين　　٢ - منفث أولى　　٣ - منفث ثانوى

٤ - مخرج الغاز　　٥ - مخرج الصلب المنصهر

١-٥-١-٦-طريقة الفرن المفتوح أو سيمنز مارتن Siemens-Martin Process :

يتم فى هذه الطريقة حرق العناصر المراد التخلص منها لتحويل الخام إلى صلب باستخدام الأكسجين الموجود فى غازات الاحتراق (أكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء) بجانب التأكسد الأساسى الذى يتم بين الحديد الخام المنصهر وما يضاف إليه من

حديـد غفل الأكسجين (تمامًا كما يحدث فى فرن التقليب) وتختلف هـذه الطريقة عن طـريقة فرن التقليب فى كـون إنتاج الحديد فى فرن التقليب يتـم دون صهره تمامًا إذ يتم اختزالـه وهو فى حالة أقرب للتعجن (سائل قوامـه ثقيل) بالتالى يصعب تخليصه من الخبث فيحتويه بينما يتم فى فرن سيمنز مـارتن صهر الحديد الخام تمامًا ويضاف إليه الحديـد الغفل وتتم التنقية وهو فى الحالة المنصهـرة وبالتـالى يستطيع الصلب المنصهر التخلص من نـواتج التفاعـلات فى صورة خبث ينفصل ويطفـو على السطح ولا تتولـد الحرارة الـلازمة فى هـذه العملية نتيجـة لاحتراق العناصر المصاحبـة للحديد كما هو الحال فى المحـولات إنما تتولد الحرارة فى فرن سيمنـز مارتن عن طـريق وقود غـازى (أو غير غازى مثل المـازوت ومسحوق الفحم) مع الهواء . فيـدخل الهواء من مـدخل خـاص شكل (١-١٥) ويـدخل الـوقـود من مـدخل آخر مجاور (يـذرى المـازوت وينفخ مسحوق الفحم) ويمـرر الهواء على غرفة مبنية بالطـوب الحرارى والوقود على غرفـة مماثلة ومجاورة للأولى وكلتـاهما مسخن إلى درجة حرارة عـالية وعند خروج الهواء والـوقود الساخن من غرف التسخين ، ثم يلتقيـا عند حوض الصهر الموجود بـه الشحنة (المرقد) فيتم الاشتعـال وتتـولى غازات الاحتراق الملتهبـة تسخين وصهـر الشحنـة بـالمرور فوقهـا بجـانب الاشتراك (بقـدر ضئيل) فى عمليـة أكسـدة العنـاصر المصاحبـة للحـديـد ثم تخرج غـازات



شكل (١-١٥) فرن سيمنز مارتن لصناعة الصلب

الاحتراق (العـادم) من النـاحيـة الأخـرى وهى ساخنـة وتمر قبل خـروجهـا إلى المدخنـة على حجرتين من الطـوب الحرارى (المبنى بطريقة متشابكـة وبينه فراغات تسمح بمـرور الغازات الساخنة) وتتولى تسخين الغرفتين . هذا ويتم ذلك فى دورة مداها ٢٠ دقيقة يتم بعدها عكس اتجاه دخـول الوقـود والهواء فيدخـلان من الغـرف الأخيرة التى تم تسخينها بغـازات الاحتراق فيسخن الهواء والـوقود ويتم اشتعـالهما عنـد المرقـد وتسخين الشحنة ثم الخروج من حجـرات الطوب الحرارى الأولى التى كـان يدخل منها الهواء والـوقود فى الدورة الأولى وتكون قـد بردت نسبيًّا بعد مرور الهواء والوقود فى الدورة الأولى وتقوم غازات الاحتراق بتسخين هذه الغرف قبل خروجها إلى المدخنـة استعدادًا لعكس دورة الهواء والوقود من الغـرف الثانية إلى الأولى (أو من الغـرف اليمنى إلى اليسرى) ويستمر التحـول من الغـرف اليسرى إلى اليمنى أو من اليمنى إلى اليسرى فى كل دورة وذلك عن طريق صمامـات تحويل يمكن التحكم فيها أتـوماتيًّا أو يـدويًّا ويبلغ إنتاج الفرن نحو ١٠٠ طن من الصلب فقير فى الكربون كل شحنة ويمتد إنتاج الشحنة زمنًا يصـل إلى نحو ١٠ ساعـات يمكن خفضها بنفخ الهواء أو الأكسجين للتعجيـل باحتراق العناصر المصاحبة للحديد وقد تستخدم خردة الصلب (المتأكسدة) لتضاف إلى الحديد الخام لأكسدة العناصر المصاحبة للحديد وتتراوح نسبة الخردة بين ٦٪ ، ٩٥٪ .

وقد يبطن المرقد ببطـانة حامضية وفى هـذه الحالة تسمى طريقة سيمنـز مارتن الحامضية وفيها لا يتـم التفاعل مع العنـاصر الحامضية (بل القـاعديـة فقط) وتقتصر هذه الطـريقة فى الحقيقة على إنتـاج أنواع الصلب التى تستخدم فى قـوالب السباكـة . إلا أنه عند تغيير بطـانة الفرن إلى بطانة قاعدية حيث يمكن التخلص من معظم الفسفور والكبريت فتنتج أنواع عالية الجودة من الصلب وتسمى هذه الطـريقة بطـريقة سيمنز مـارتن القاعـدية وفى هذه الطـريقة تستخدم عادة إضافـات من الجير قبل وضع الشحنة (لحماية بطانة المرقـد عند سقوط الشحنة عليه) وأثناء الصهر للمساعدة على التخلص من الفسفور والكبريت .

١-٥-١-٧- الأفران الكهربائية لإنتاج الصلب Electric Furnaces for Steel Production :

يتم فيها التسخين بالطـاقة الكهربائيـة أى بتحويل الطاقة الكهـربائية إلى طاقـة حرارية بالأساليب المعروفة فى هذا السبيل وهى :

١ - القوس الكهربائى Electric Arc .

٢ - المقاومة الكهربائية Electric Resistance .

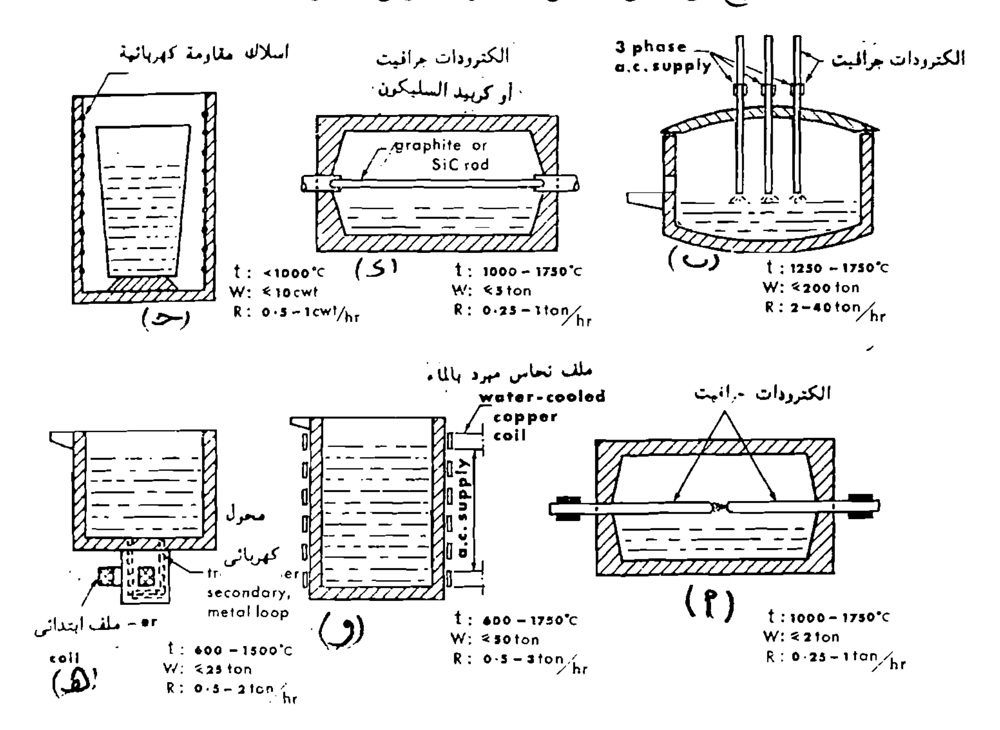
٣ – التيارات التأثيرية أو الحثية Induction Furnaces .

١ - **أفران القوس الكهربائى** - وتنقسم إلى ثلاثة أنواع :

(أ) فرن القوس الكهربائى غير المباشر : شكل (١-١٦)(أ) ، وفيه تتولد الحرارة عن طريق توليد قوس كهربائى بين قطبين من الكربون (الجرافيت) متصلين بمصدر للتيار الكهربائى المتردد (محول تخفيض الجهد الكهربائى Transformer) وتنتقل الحرارة إلى الشحنة فى هذه الحالة بالإشعاع .

(ب) فرن القوس الكهربائى المباشر : شكل (١-١٦)(ب) ، وفيه تتولد الحرارة عن طريق قوس كهربائى بين أقطاب كهربائية من جهة وبين الشحنة مباشرة من جهة أخرى وبذلك تتولد الحرارة فى الشحنة مباشرة .

(جـ) فرن القوس الكهربائى المغمور : وفيه تتولد الحرارة عن طريق قوس كهربائى بين أقطاب كهربائية من جهة وبين الشحنة التى هى فى هذه الحالة ليست حديدًا خامًا بل حديدًا غفلاً (المستخرج من باطن الأرض) فيكون القوس مغمورًا تحت الشحنة .



شكل (١-١٦) أفران صهر الصلب الكهربائية

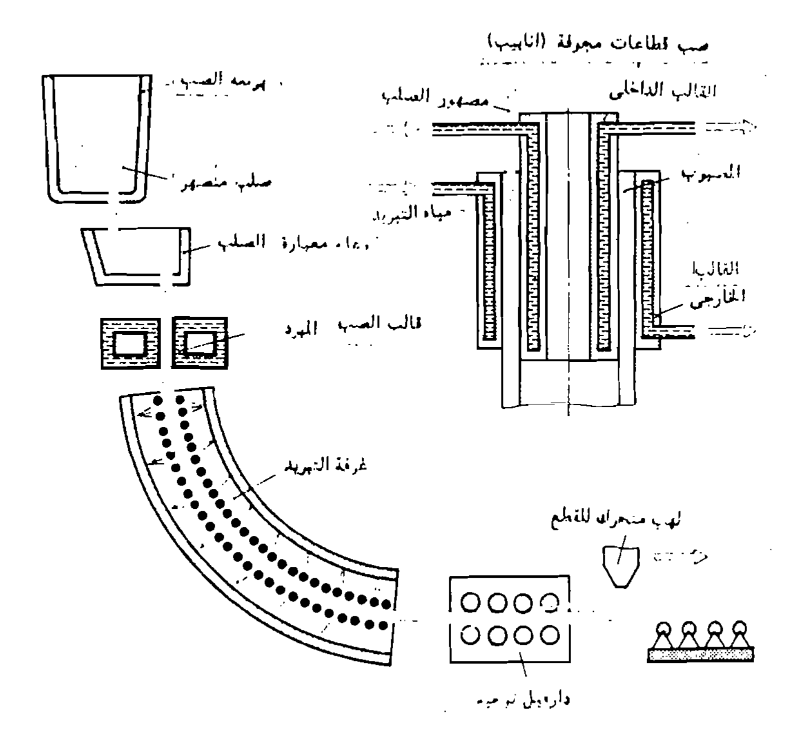
٢ - **أفران التيارات الحثية** - وتنقسم إلى نوعين :

(أ) **أفران التيارات الحثية منخفضة التردد** : شكل (١-١٦)(هـ ، و) ، وفى هذه الحالة يوصل مصدر الطاقة الكهربائية (محول التيار) إلى أطراف الملف الابتدائى لمحول آخر كبير وتمثل بوتقة الصهر فى هذه الحالة الملف الثانوى لهذا المحول الكبير ، وعن طريق توليد التيارات الحثية فى قلب البوتقة تتحول هذه التيارات إلى حرارة مباشرة فى الشحنة هذا بجانب قيام هذه التيارات الحثية (تيارات دوامية أو إعصارية) بتقليب الشحنة فى كل أرجائها تقليبًا دواميًّا مما يساعد على تجانسها ، وفى هذا الفرن يستخدم التيار الكهربائى عادى التردد (٥٠ هرتس) أو بتردد دون ذلك حتى ١٥ هرتس (هرتس = ذبذبة فى الثانية) .

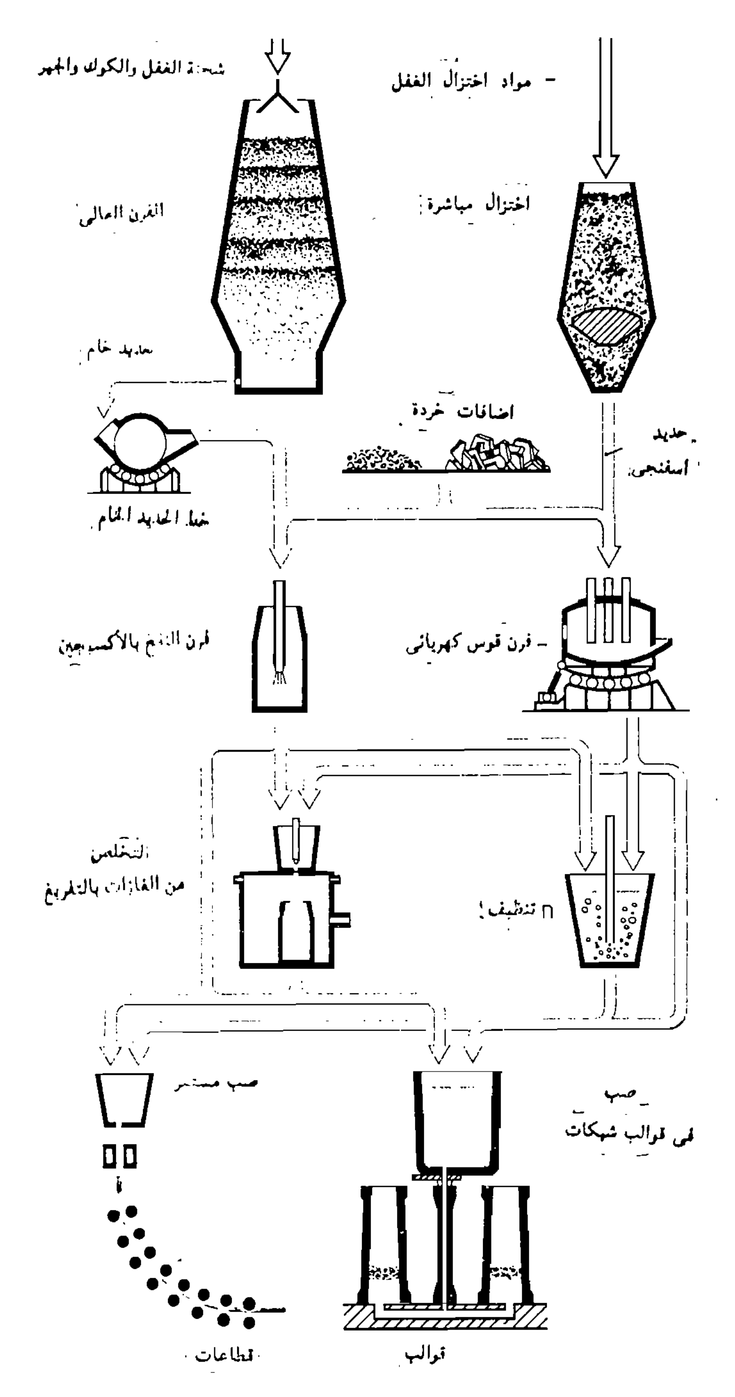
(ب) **أفران التيارات الحثية متوسطة التردد** : شكل (١-١٦) (و) ، وهى تشبه الأفران السابقة فقط يحول التيار الكهربائى المعتاد إلى تيار ذى تردد عال يفوق (٥٠هرتس) قد يصل إلى ١٠٠٠٠ هرتس فى الترددات المتوسطة وما يفوق ذلك إلى نحو مليون هرتس فى الترددات العالية . وتستخدم مواسير النحاس النقى المبردة بالماء الجارى لعمل ملفات التيار الابتدائى .

هذا وقد تطورت صناعة الصلب فى العقود الأخيرة بحيث أصبح يستغنى فى كثير من الأحيان عن صب مستخرج مصهور الصلب فى سبكات أو قوالب لتجميدها ثم إعادة تسخينها لدرفلتها إلى الأشكال والقطاعات المطلوبة فصار معظم إنتاج الصلب بعد الانتهاء من استخلاصه فى أفران الصهر يتم صبه بطريقة مستمرة تسمى بالسباكة المستمرة Continuous Casting بأن يخرج المنصهر من آخر مراحل استخلاصه إلى قالب رأسى مفتوح من فوهته وقاعه ومبرد بالماء وفى أول الأمر يسد القاع ثم يصب المنصهر فى فتحة القمة فيتجمد تدريجيًّا فوق فتحة السد ثم يسحب من أسفل تدريجيًّا بمعدل يعادل معدل التجميد ويمر على درافيل لتشكيله مباشرة بالقطاعات المطلوبة ويقطع بالأطوال المناسبة شكل (١-١٧) بواسطة لهب الاكسى استلين .

ويوضح شكل (١-١٨) خريطة شاملة إيجازية لمراحل صناعة الصلب من مراحل الغفل عن طريق الفرن العالى ثم المحولات أو الأفران الاستخلاصية (الكهربائية) ثم الصب المستمر لإنتاج القطاعات المطلوبة .



شكل (١-١٧)
إنتاج قطاعات الصلب والأنابيب بطريقة الصب المستمر بعد الاستخلاص مباشرة

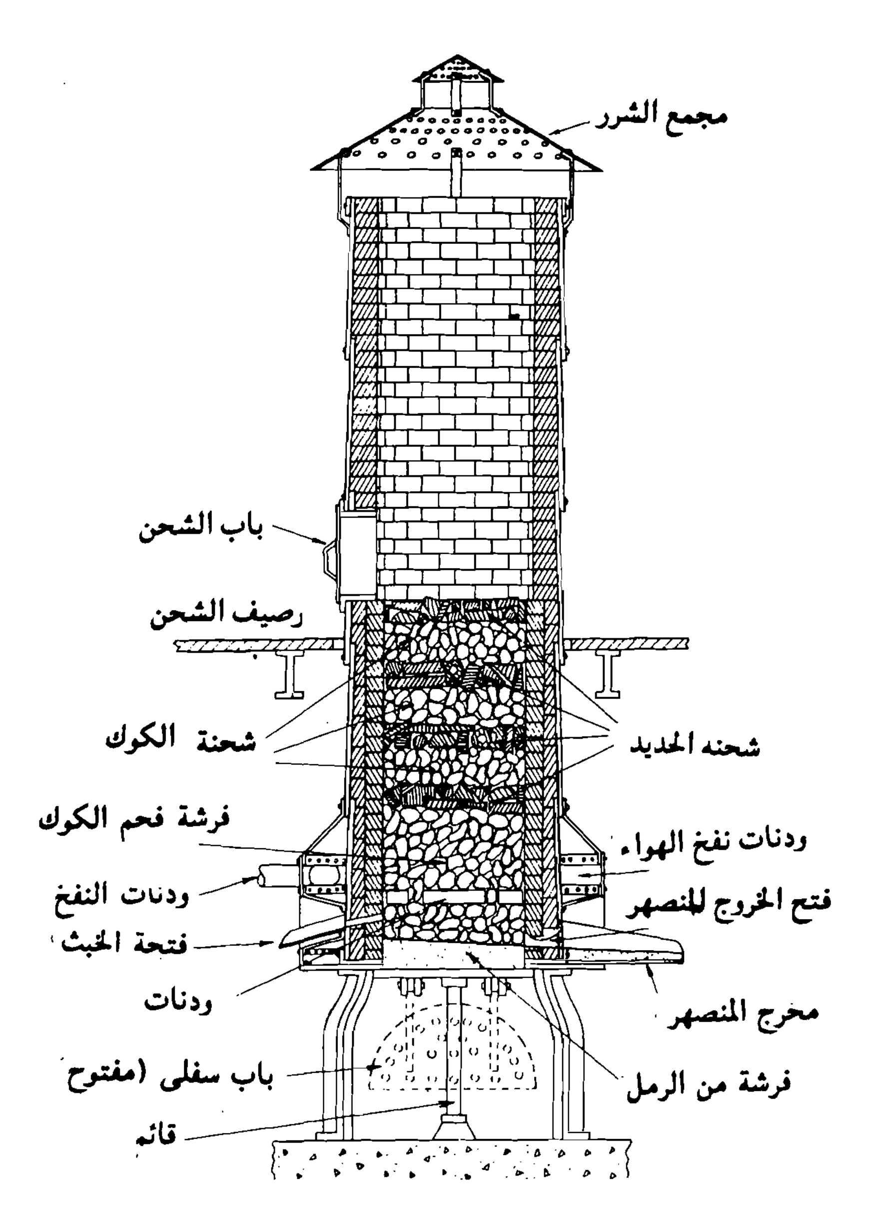


شكل (١-١٨)
خريطة شاملة توجز مراحل صناعة الصلب بدءًا من الغفل حتى القطاعات أو السبكات

١-٥-٢-إنتاج حديد الصب (الزهر) Production of Cast Iron :

لا يختلف تركيب حديد الزهر (الصب) عن حديد الصلب إلا فى نسبة احتوائه على الكربون بصفة أساسية والعناصر الأخرى بصفة ثانوية فحديد الزهر تصل نسبة الكربون فيه إلى ما بين ٥ , ٢٪ ، ٧٥ , ٣٪ وترتفع نسب العناصر الأخرى وهى السليكون والمنجنيز والفسفور والكبريت بنسب مختلفة . ولإنتاج حديد الزهر الذى يستخدم فى صناعة المسبوكات التى هى أساسًا فرش وجسم المكنات والآلات . وتستخدم أساليب مشابهة لصناعة الصلب مثل الأفران الكهربائية لصناعة الصلب وأفران البواتق ، بالإضافة إلى استخدام أفران تشبه الفرن العالى وتعمل بأسلوب يشبه كثيرًا أسلوب الفرن العالى وتسمى هذه الأفران بأفران الدست Cupola Furnace شكل (١-١٩) ولا يختلف عنه إلا فى كون بنائه اسطوانى الشكل من قمته إلى قاعه على خلاف الفرن العالى . وتتشابه التفاعلات الحادثة فى فرن الدست وتلك الحادثة فى الفرن العالى ففرن الدست تدخله شحنة الحديد التى تتركب من تماسيح الحديد الخام الخارج من الفرن العالى مضافًا إليها حديد زهر قديم (كسر المكنات أو بقايا المسابك) وفى بعض الأحيان خردة صلب (متأكسدة) ويضاف إلى شحنة الحديد فحم الكوك وحجر جيرى كمساعد صهر كالفر ن العالى وأخيرًا ينفخ هواء بارد أو ساخن من ودنات كما يحدث فى الفرن العالى . وتمر شحنة الحديد فى فرن الدست بتفاعلات مشابهة لتلك التى يمر بها الحديد الغفل فى الفرن العالى فقط يملأ المرقد فى قاع فرن الدست بفحم الكوك المتوهج حيث يتجمع حوله الحديد المنصهر الساقط من منطقة الانصهار ويكاد يكون نقيًا من الكربون فيكتسب الحديد المنصهر كمية لا بأس بها من الكربون تتوقف على الزمن الذى يبقى معه المنصهر ملامسًا للكوك المتوهج قبل إخراجه من الفرن وكذلك على نسب السليكون فى الحديد أى أنه يتم فى فرن الدست إعادة كربنة الحديد بعد تنقيته وترتفع نسبة الكربون إلى مقدار يتراوح بين ٥ , ٢ ، ٧٥ , ٣٪ وبالتالى فإن فرن الدست لا يصلح أساسًا لإنتاج الصلب (الذى لا تتجاوز نسبة الكربون به ٢٪ بأى حال من الأحوال) بسبب زيادة عملية الكربنة فى مرقد فرن الدست .

وحديد الزهر حديد سيل عند انصهاره يسهل صبه فى قوالب بالأشكال المطلوبة فيأخذ شكلها بأمانة كبيرة بعكس معظم المعادن والسبائك الأخرى . وهو معدن قصيف (هش) لا يتحمل الصدمات أو الشد كثيرًا إلا أنه يتحمل الضغط إلى قدر يعادل عدة أمثال تحمله للشد . ومن أهم ميزاته الأخرى هو مقاومته للصدأ والتآكل حتى عند تواجده فى أجواء



شكل (١-١٩) فرن الدست لصهر حديد الزهر

رطبة . ولذلك يستعمل فى نقل مياه الصرف والأدوات الصحيَّة . ونظرًا لمقاومته العالية نسبيًا للضغط يستخدم فى صناعة فرش المكنات والأجزاء التى تتعرض للضغط كدرافيل مكنات الرصف أو الطحن وتفيد صلادته العالية بجانب ذلك استخدامه فى المجالات السابقة وحديد الزهر ثلاثة أنواع رئيسية .

١-٥-٢-١- حديد زهر أبيض White Cast Iron :

وهو حـديد يذوب فيـه الكربون الموجود ذوبـانًا تامًـا بالاتحاد مع الحديد مكـونًا المركب المعروف بـاسم كربيد الحديـد أو السمنتايت Cementite or Iron Carbide (Fe_3C) وهو قصيف جدًا وصلد ويندر استخدامه إلا فى الحالات التى تتطلب صلادة مفرطة ومقاومة للبرى والتآكل كالطواحين والأسطح المعرضة للاحتكاك والبرى .

١-٥-٢-٢- حديد الزهر الرمادى Cray Cast Iron :

وفيه يكون الكربون الموجود فى الحديد منفصلاً بصفـة جزئية ويكون انفصال الكربون فى صورة قشور جرافيتية رقيقـة موزعة فى داخل المعدن وبالتالى تقل صلادة حديـد الزهر الرمادى عن الأبيض وتكسب القشـور الجرافيتية مقطع الحديـد لونـه الرمـادى المميز بجانـب إكساب الحديد خاصية خمد الاهتزازات الأمر الذى يفيد فى صنـاعة فرش المكنات المعرضة للاهتزازات كالمخارط وكافة مكنات التشغيل ومحركات الديزل وخلافه .

١-٥-٢-٣- حديد الزهر اللدن Malleable Cast Iron :

هو فى الحقيقة نوع من أنواع الحديد الرمـادى السابق إلا أنه يختلف عنه فى شكل جرافيته المنفصل فيكـون الجرافيت المنفصل فى الحديد اللـدن على شكل تجمعـات متكاملـة أو قريبـة للتكور بعكـس حديـد الزهر الـرمادى فجـرافيته المنفصل على شكـل قشور حـادة الأطراف . ويُنتج حديد الزهر اللدن بعملية تطرية حـرارية بتسخين حديد الزهر الرمادى إلى درجة حرارة تبلغ نحو ٧٠٠م لعدة أيام فتتكور قشور الجرافيت ويصبح الحديـد لدنًا (طريًا) نسبيًا ويصنع منـه مواسير الميـاه والصرف المعتادة ولا يجب أن يفهم مـن معنى الحديد اللـدن أو الطرى أنـه يمكن تشكيله بالضغط أو بـالطرْق (بالحدادة) أو بالسحب سـواء على البارد أو على السـاخن فهـو ما زال يتصف بقصـافـةتمنع تشكيله بهذه الطـرق وحـديد الـزهـر بكل أنواعـه لا يمكن تشكيله تشكيلاً لدنًا ويصعب لحامه لذلك يقتصر تشكيله على طُرق السباكة أى بصهره وصبه فى قوالب بـالأشكال المطلوبـة وتركه يتجمدولـذلك يسمى حديد الصب . ويمكن بعـد صبه تشغيل أسطحه بالخرط أو القشط أو التفريز أو التجليخ .

١-٦- إنتاج المعادن غير الحديدية وسبائكها :

Production of Non-Ferrous Metals and Alloys

إن فى مقدمة المعادن غير الحديدية ، المستعملة على نطاق واسع فى الصناعة ، النحاس والألومنيوم والقصدير والزنك والرصاص والنيكل والمغنسيوم ويفسر استعمال المعادن غير الحديدية وسبائكها بأن لبعضها خواص مميزة فى الاستخدام الهندسى إما لجودة التوصيل الكهربائى والحرارى أو مقاومة الصدأ والتآكل ونقص معامل الاحتكاك أو مقاومة فعل درجة الحرارة المرتفعة أو خفة الوزن وسهولة التشكيل على البارد أو على الساخن بجانب الاعتبارات الاقتصادية .

١-٦-١- إنتاج النحاس Production of Copper :

يعتبر معدن النحاس من أقدم المعادن التى عرفتها البشرية والمتوافرة والموزعة فى أماكن كثيرة . ويوجد فى حالته الطبيعية متحدًا مع كثير من العناصر الأخرى . ويمتاز النحاس فى حالته النقية وفى كثير من سبائكه بارتفاع قابليته للتوصيل الكهربائى والحرارى بجانب قابليته للسحب (المطيلية) وبالتالى يمكن أن يسحب إلى أسلاك رفيعة وهو بجانب ذلك طروق فيمكن تشكيله بالطرق على البارد وتحويله إلى صفائح أو رقائق دقيقة الثخانات .

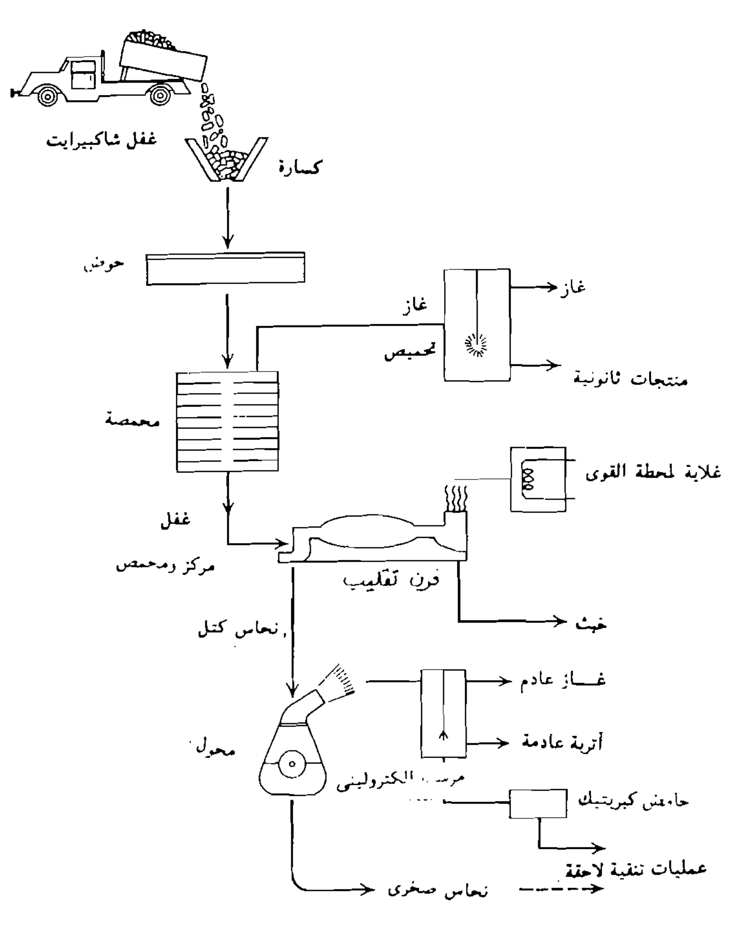
١-٦-٢- غفل النحاس Copper Ores :

يوجد الغفل أساسًا فى القشرة الأرضية وفى أعماقها على شكل مركبات مختلطة ، كما يحتوى هذا النحاس عل غفل معادن أخرى .

ويستخلص الجزء الأكبر من النحاس فى غفله الكبريتى الذى يتحد فيه النحاس بالكبريت الخام المعروف باسم شالكوبيرايت Chalcopyrite والذى يحتوى على كبريتيد النحاس $Cu\ Fe\ S_2$, $Cu_2\ S$ والذى يوجد فى أعماق باطن الأرض .

١-٦-٣- استخلاص النحاس : يمكن استخلاص النحاس إما بالطريقة الرطبة أو الطريقة الجافة ويوضح شكل (١-٢٠) خطة استخلاص النحاس من غفله بالطريقة الجافة والتى تتكون من المراحل التالية :

١ - تكسير الغفل فى كسارات خاصة .



شكل (١-٢٠) خريطة استخلاص معدن النحاس

٢ - خلط الغفل المكسر مع الجير ومساعد صهر سليكونى .

٣ - تخليص الغفل من الشوائب والأتربة العالقة أى تركيزه ويتم ذلك بطريقة التعويم Flotation فى حوض ماء .

٤ - تحميص الغفل جزئياً بالتسخين فيتكون خليط من مركبات كبريتيد النحاس بالإضافة إلى أكاسيد الحديد ويسمى هذا الخليط كالسين Calcine (يتم التحمص عند درجة حرارة ٨٠٠ - ١٠٠٠م) .

٥ - صهر الكالسين مع حجر الجير (كمساعد صهر) . فى فرن خاص فيتم التخلص من معظم مركبات الحديد فى صورة خبث ويبقى غفل النحاس متلبداً مع باقى مركبات حديد الخبث يسمى حينئذ بالنحاس الصخرى Matte .

٦ - صب النحـاس الصخـرى فى محول (يشبه محول النفخ بـالأكسجين أو بسمـر) فيتم نفخ سطح المنصهـر بالهواء من الفتحـات ، ويستمـر النفخ لفترة تتراوح بين ٤ إلى ٥ ساعـات فتتأكسـد الشوائب ويخرج معظمهـا فى صورة أكـاسيد متطـايرة والبـاقى ينضم إلى الخبث الـذى يطفـو على السـطح ويكشـط من حين لآخـر ، ويتأكسـد كبريتيد النحـاس إلى أكسـيد نحاس أو إلى كبريتـات نحـاس . وعنـدما ينتهى زمن النفخ يبـدأ التفـاعل بين أكسـيد النحـاس وكبريتات النحاس ويكـونان فى النهـاية نحاسًـا منفطًا Blister وثانى أكسـيد الـكبريت ويحتـوى النحاس المنفط على نحـو ٩٨ إلى ٩٩ ٪ نحـاس وهـو خام لا يصـلح لـلاستخدام المباشـر بل يحتـاج إلى عمليـات تنقية أكثـر شـأنه شـأن الحديد الخام الخارج من الفـرن العالى . وتتـم التنقية النهـائيـة بالترسيب الكهـربـائى على المهبط إلكتروليتيا Electrolytically وينتج نحاسًا نقيًا تمامًا وهو الذى يُطلق عليه النحاس العالى فى جودة توصيلـه وخال من الأكسجين Oxygen Free High Conductivity Copper (O.F.H.C.) . ويستخدم فى صناعة الموصلات والأسلاك الكهربائية .

الطريقـة الرطبـة :

وتتبع فى حـالة الغفل الأكسـيدى الـذى يفتت ثم يفـرز لنحصـل على حبيبـات ذات حجم متقارب الدرجات وتجرى لكل درجة عملية تركيز فى مكنة ترسيب وفى هذه المكنة يغسل الخام بـواسطة تيـار من المـاء ولمـا كان الـوزن النوعى للخـام والمـادة العـاطلة مختلفًـا ، فإنهما ينفصـلان فيرسب الغفل إلى أسفل بينما تطفـو المـادة العـاطلـة ويعامـل الخام المركز بمحلـول مخفف من حامض الكبريتيك ، ويتلو ذلك ترشيحه للحصول على محلول نظيف ويتم ترسيب النحاس من المحلول بـالتحليل الكهربائى أو بإحلال الحديـد (الخردة) محل النحاس حسب التفاعل .

$$Cu\,SO_4 + Fe \longrightarrow Fe\,SO_4 + Cu$$

ولا يكـاد يستخـدم النحاس النقى (الأحمر) إلا فى الأجـزاء أو العنـاصر التى يهتم فيهـا بالاستفـادة بأهم خواص النحاس النقى وهى خـاصية التوصيل الكهـربائى والحرارى فتصنع منه الأسـلاك والكبلات الكهربـائية وباقى عنـاصر الدوائر الكهـربائية التى نهتم فيهـا بجودة التـوصيل وقـديمًا فى أوانى الطبخ (استفـادة بجـودة التـوصيل الحرارى وذلك بعـد طـلائهـا بالقصدير للوقـاية من تكوين كربونات النحاس السامـة) وكذلك المبادلات الحرارية وكل ما

يهتم فيه بجودة التوصيل الحرارى أو الكهربـائى وقلما يستفادبالنحاس فى مجالات أخرى بسبب قصور مقاومته للإجهادات الميكانيكية عن الوفـاء بالمتطلبات الهندسية فهو لا يرقى إلى مستوى الصلب من هذه الناحية بجانب ارتفاع سعره إلا أنه بخلط النحاس بمعادن أخرى أى تكوين سبـائك أمكن الاستفادة بـالنحاس فى مجالات عـديـدة . ويمكن تقسيم سبائك النحـاس إلى نوعين رئيسيين :

١ - سبائك النحاس الأصفر Brasses .

٢ - سبائك البرونز Bronzes .

١-٦-٤- سبائك النحاس الأصفر :

وهى أساسًا بين النحـاس النقى (الأحمر) والزنك وكلما ازدادت نسبة إضافـة الزنك كلما تحسنت الخواص الميكـانيكيـة كمقاومـة الشـد والضغط والانحناء وزادت الصـلادة وطـالت المطيلية والطـروقية . ولـذلك تصنع الأجزاء النحـاسية التى تشكل على البـارد أو على الساخن فقط تشكل بـالصب (كحـديـد الزهـر) والنحـاس الأصفـر مقاوم للصـدأ والتـآكل والبرى بالاحتكاك فيصنع منـه الزلاقات والصنابير والتماثيل والمبادلات الحرارية والعمـلات النحاسية ومقابض الأبواب وأعمال الزينة فى الأثاث والمبانى (ديكور) .

١-٦-٥- سبائك البرونز :

وهى أساسًا من النحـاس النقى مضافًا إليه أى معدن آخر ويسمى البرونـز باسم المعدن المضاف إلى النحـاس مهما كانت نسبـة المعدن ضئيلة فـالبرونز الفسفـورى يحتوى على ١ , ٠٪ فسفور أسـاسًا ويضـاف القصدير بنسب تتراوح بين ١ ، ٢٢٪ وهـو أشهر أنـواع البرونزات إذ يتصف بمقاومتـه العالية لـلإجهادات والبرى بالاحتكـاك فتصنع منه مـراوح الدفع فى السفن ومراوح المضخات والأجراس وهو يشكل عادة بالصب لصعوبة تشكيله بالوسائل الأخرى .

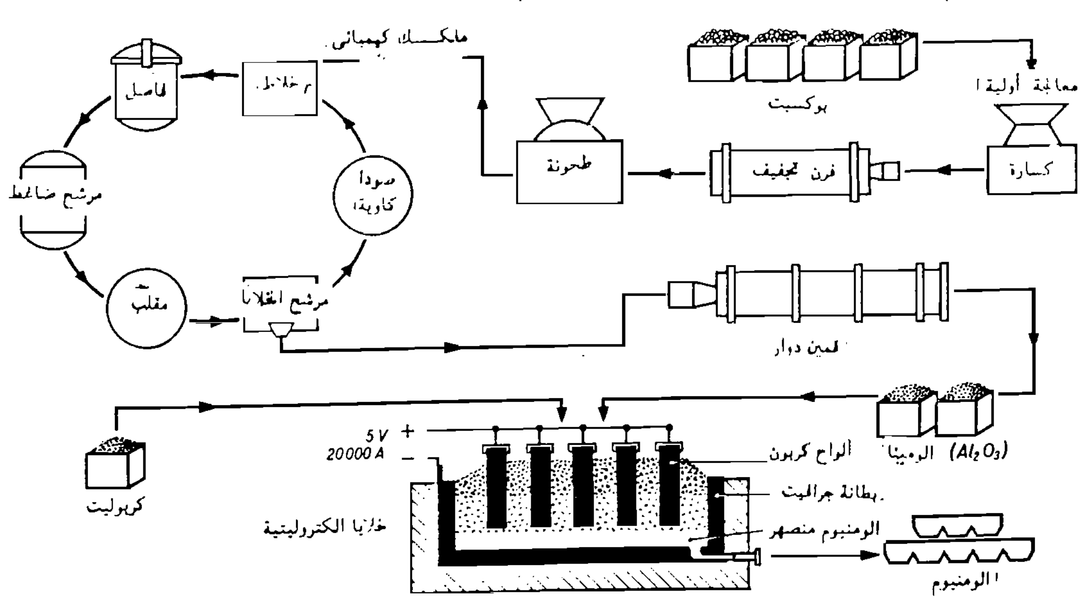
وهناك البرونـز النيكلى الذى يحتـوى على ٢٠ إلى ٣٠٪ نيكل وهو مقـاوم للتآكل ويصنع منه مكثفات المحطات البخارية والسفن وهناك أيضًـا البرونز القصديرى المعروف باسم معدن المدافع Gun Metal الذى كـان يستخدم قـديمًا فى صناعـة الأسلحة وحل محلـه الصلب عند اكتشـاف الحديد ويحتـوى على ١٠٪ قصـديـر - ٢٪ زنك وهذه السبيكـة تشكل بـالصب أو بالتشكيل على الساخن فوق درجة حرارة ٦٠٠م . ومن السبائك الشهيرة أيضًا الألومنيوم برونز

والتى تحتوى فقط على قدر يتراوح بين ٥ ,٧٪ ، ١٢٪ ألـومنيوم والبـاقى نحـاس الـذى يشكل بـالصب ويتميز بمقـاومته للبرى فتصنع منـه العمـلات البرونزيـة (٥ ، ١٠ قروش) بجـانب الزلاقات فى الأجزاء الميكانيكية .

١-٧- إنتاج الألومنيوم Production of Aluminium :

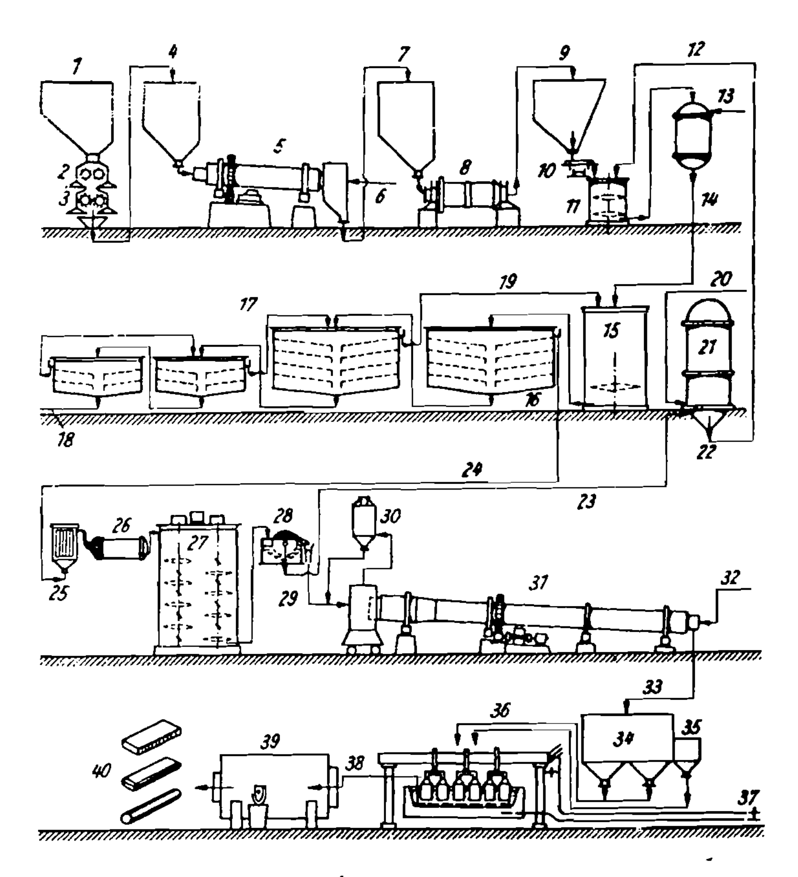
١-٧-١- الألومنيـوم :

الألومنيـوم معدن حديث الاكتشاف وتـم استخلاصه لأول مرة عـام ١٨٢٥ إلا أن غزوه لمجال الاستخدام فى الصناعة أصبح كبيرًا جدًا فى القرن الحالى حتى أنه أصبح ينافس الفلزات الأخرى كالحديد والنحاس بسبب خفة وزنه وجودة توصيله للكهرباء والحرارة ومقاومته العالية للتآكل (تتأكسـد قشرة رقيقة جدًا منـه شفافة تقى ما تحتهـا من معدن مدى الحيـاة) وينصهر الألومنيوم عند درجة حرارة منخفضة نسبيًا (٦٦٠م) .



شكل (١-٢١) خريطة استخلاص الألومنيوم من البوكسيت

وأهم أنواع غفل الألـومنيوم هو المعروف بـاسم البوكسـيت Bauxite نسبة إلى مكتشـفه Les Bauxوتركيبه $Al_2O_3H_2O$ أى هيدروكسيـد الألومنيـوم . وهو صخـرى الشكل ويحتوى عادة على شوائب من أكسيد الحديد والسيليكا وأكسيد الكالسيوم والتيتانيا .

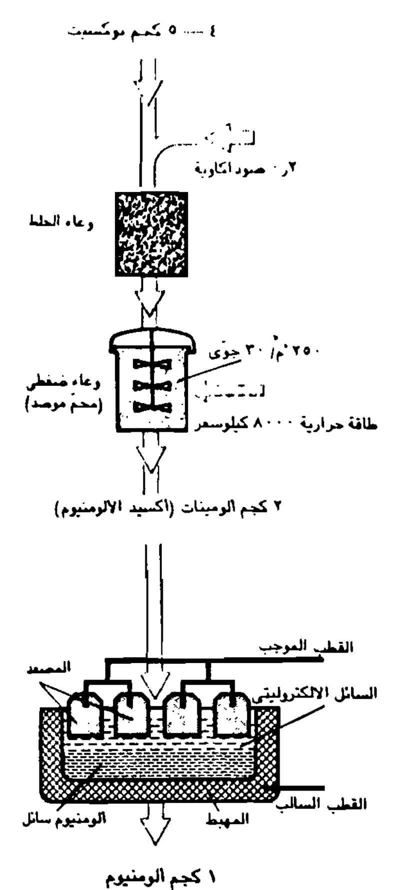


شكل (١-٢٢) خريطة استخلاص الألومنيوم من خام البوكسيد

(١) بوكسيت خام (٢) كسارة أولية (٣) كسارة ثانية (٤) بوكسيت مكسر (٥) فرن دوار (٦) غاز (٧) بوكسيت جاف (٨) طحونة بكرات (٩) بوكسيت مطحون (١٠) ميزان (١١) خلاط (١٢) فاصل (١٣) بخار ضغطه منخفض (١٤) محلول صودا (١٥) مخفف المحلول (١٦) مركز القوام (١٧) غسيل (١٨) إلى مجمع الطين الأحمر (١٩) محلول صودا الغسيل (٢٠) بخار ضغط منخفض (٢١) مبخر متعدد المراحل (٢٢) محلول صودا للإذابة (٢٣) صودا مخففة (٢٤) محلول صودا ألومينا (٢٥) مرشح (٢٦) مبرد الصودا (٢٧) مقلب (٢٨) مرشح برميلى (٢٩) مبلل (٣٠) مرشح كهربائى (٣١) فرن كلنسية ١٢٠٠ إلى ١٣٠٠°م (٣٢) غاز (٣٣) أكسيد ألومنيوم (٣٤) طمى ألومينا (٣٥) كريولايت (٣٦) فرن الكتروليتى (٣٧) تيار مستمر (٣٨) ألومنيوم سائل (٣٩) فرن الصب والتخزين (٤٠) قطاعات الدرفلة والسيقان

ولاستخلاص الألومنيوم من غفله يسحق الغفل أولاً ثم يُبلل بالصودا الكاوية مكونًا صوديوم ألومينات Sodium Aluminate والتى تفصل بالترشيح لفصل أكاسيد الحديد والكالسيوم والتيتانيوم المعلقة : شكل (١-٢١ ، ٢٢ ، ٢٣)

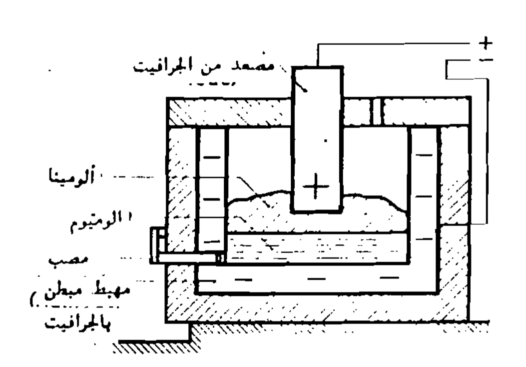
$$2Al(OH)_3 + 2NaOH \longrightarrow Al_2O_3 Na_2O + 4H_2O$$



شكل (١-٢٣) موجز لعملية استخلاص الألومنيوم

وتبقى الألومينـا ذائبة فى المـــاء ثم تحول هذه إلى هيـدرات الألومنيوم بـالترسيب ثم تحول هذه إلى أكاسيد الألومنيوم بالكلسنة (التحميض) Calcination عند درجة حرارة ١٣٠٠°م . (أكسيدألومنيوم غير مـائى) ثم يختزل الأكسيد بالترسيب الكهربـائى للمحلول المنصهر عند ١٠٠٠°م. أى بتحليل أكسيد الألومنيـوم كهربائيًا فى خلية كهربائيـة (حمَّام) من الكريولايت AlF_3 3NaF المنصهر إلى مكوناته بإمرار تيار كهربائى فيه شكل (١-٢٤) فنجد أن الألومنيوم يترسب عند قـاع الحمام المنصهر (المصعـد) ويبقى منصهرًا حيث يسحب من فتحـة فى القاع ويُصب فى صورة تماسيح أو سبكات .

والألومنيوم شره للاتحاد بالأكسجين مما يجعله صعبًا فى لحامه بالوسائل المعتادة إلا أن هذه الأكـاسيد تقى بـاقى المعدن من تطـور عملية الأكسـدة ويمكن الاستفادة من هـذه الظاهـرة



شكل (١-٢٤) خلية استخلاص الألومنيوم

بإحكام الوقاية من الصدأ والتآكل بأكسدة سطح الألومنيوم صناعيًا بالعملية المعروفة بالأنودة Anodizing والألومنيوم يمكن سحبه إلى أسلاك أو درفلته إلى رقائق دقيقة تستخدم فى تغليف الشيكولادة والسجائر . ومسحوقه يستخدم فى الطلاء للوقاية من الصدأ . ويندر استخدام الألومنيوم النقى إلا فى الحالات التى يتطلب فيها جودة التوصيل الكهربائى (الكبلات الكهربائية) ولشدة بريقه ولمعانه عند صقله واحتفاظه بهذه الصفة يستخدم كعواكس للحرارة والضوء ولا يكاد يُستخدم الألومنيوم النقى فى أغراض تتجاوز المذكورة بسبب قصور خواصه الميكانيكية أيضًا ولذلك تُضاف إليه بعض العناصر الأخرى كالسيليكون والنحاس والمغنسيوم بقصد تحسين الخواص الميكانيكية . ويمكن أن تُكسى سبائك الألومنيوم بطبقة رقيقة من الألومنيوم النقى بالدرفلة تعرف بالكلاد Alclad لحمايتها من التآكل وتستخدم هذه فى ديكورات السيارات (المعروفة بالنيكل رغم عدم وجود نيكل بها) .

١-٧-٢- سبائك الألومنيوم Aluminium Alloys :

أهمها السبائك التى يُضاف فيها السيليكون إلى الألومنيوم بنسب تتراوح بين ٧٥, ١٪ ، ١٥٪ سيليكون وكلما ازدادت نسبة السيليكون كلما زادت مقاومة السبيكة للإجهادات كالشد والضغط والصلادة بينما تقل المطيلية والطروقية . ويمكن تشكيل سبائك الألومنيوم الفقيرة فى السيليكون على البارد وعلى الساخن التى تُصنع منها أوانى الطبخ وقطاعات صنع الأبواب والنوافذ (ألومتال) بينما يصعب ذلك فى السبائك الغنية بالسيليكون فتشكل بالصب كأجزاء محركات السيارات الجسم والمكبس والمبخر (الكربيراتير) وغيره . وهناك سبائك الألومنيوم مع النحاس والمغنسيوم والمنجنيز وكلها تتصف بخواص ميكانيكية جيدة كألواح صناعة الطائرات التى تتصف بخفة الوزن ومقاومة عالية الإجهادات والتآكل .

١-٨- المواد غير المعدنية Non Metallic Materials :

ظل علم الكيمياء يهتم بتركيب وبنية المواد الطبيعية ومعالجتها والاستفادة بها على أوسع نطاق حتى عام ١٩١٠ . إلى أن صارت بعد ذلك قفزة كبيرة فى تطور استخدام هذه المواد (طبيعية كانت أو صناعية) وأصبحت هناك مركبات عديدة يصعب حصرها بجانب تعقد تركيبها وتكوينها .

ولإعطاء فكرة موجزة عن المواد الصناعية غير المعدنية نجد أنه يمكن أولاً تقسيمها إلى :

مواد غير عضوية Inorganic :

١ – طبيعية Natural مثل :

الأحجار – المعادن – الطفل والطمى – الأملاح .

٢ – تخليقية (صناعية Synthetic) مثل :

الأسمنت – الخرسانة – المصيص والجبس – الزجاج – الخزف – الطوب – الصينى – الميناء – السيليكا والألومنيا – الجرافيت – الكربيدات .

مواد عضوية Organic :

١ – طبيعية :

مثل مركبات الغازات الطبيعية – المركبات البترولية – المركبات الكربونية – الكربوهيدرات الوسيطة – الخشب – المركبات السليلوزية – الشيلاك (الراتنجات) – الجلود الطبيعية – الفبر الطبيعى .

٢ – تخليقية (صناعية) :

مثل الورق واللدائن (المواد السليلوزية المخلقة – الجلد الصناعى – الراتنجات الصناعية – المطاط الصناعى – الفبر الصناعى) .

وسوف نهتم ببعض المواد التى تفيدنا بصفة خاصة فى دراستنا الهندسية وذلك بترتيب أهميتها وانتشار استخدامها .

١-٨-١- اللدائن (البلاستيك = البوليميرات) Polymers :

اللدائن هى مواد عضوية مخلقة (اصطناعية) تصنع من مواد خام مثل النفط (البترول) من خلال تحولات كيميائية وتعتمـد أساسًا على ارتباطات عضوية كربـونية (باستثناء اللدائن السليكونيـة) . وقد ابتكرت اللـدائن منذ نحو قـرن مضى وحلت محل كثير من المعادن والمواد الطبيعية فى كثير من الاستخدامـات الهندسية والاستعمالات اليومية ، وتتميـز اللدائن بخواص فريدة لا تحوزها كثير من المواد الطبيعية مثل خفة الوزن (وزن نوعى منخفض) ومقاومة التآكل وسهولة التشكيل ثم العزل الكهربائى والحرارى والصوتى بجانب المرونة والشفافية (فى بعض الأنواع) عـلاوة على جمال المظهر وإمكـان تلوينها (صـلاحيتها لأعمال الـديكور) والخواص الميكانيكية الفريدة ثم انخفـاض تكلفتها . إلا أن من أهم عيوبها نقص مقاومتها لفعل الحرارة وقابليـة بعض أنواعها لـلاشتعال وضعف مقاومتها لـلإجهادات الميكانيكيـة وكذلك ضعف مقاومة بعضها للمذيبات أو الأحماض . وتشكل اللدائن مشكلة خاصة بدأت تظهر فى الوجود وهى عدم إمكـان التخلص منها اللهم إلا بإعادة تشكيلها مـرة أخرى (Recycling) ومن ثم فهى تعتبر إحدى ملوثات البيئة وهى المشكلة التى تؤرق بال البشر حاليًا .

١-٨-٢- التركيب الكيميائى للّدائن :

تتركب اللدائن كلها (باستثناء الأنواع السليكونية) من روابط كربونية على هيئة سلاسل متصلة أو خيوط (جزئيات مترابطة Macromolecules) . ويمكن أن يترابط مع الكـربون فى هذه السلاسل عناصر الهيدروجين ، الأكسجين ، النيتروجين ، الكلور والفلور .

وتنتج اللدائن أساسًا من خـامات النفط (زيت البترول الخام) والغازات البترولية ويتم ذلك على خطوتين أساسيتين :

- تخليق مـواد أوليـة قـابلـة للتفـاعل تتركب من جـزيئـات أحـاديـة تسمى ميرات أحـاديـة (Monomers) (Mono = أحادى) .
- ترابط (تجميع) آلاف الجزيئات الأحاديـة إلى جزيئات كبيرة مترابطة (Macromolecules) يطلق عليها بوليميرات Polymers (Poly = عديد) .

ويمكن أن يتم هذا التجميع لهذه الجزيئات إلى بـوليميرات من خلال أى من التفاعلات التالية :

(أ) البلمرة (أى التجميع) Polymerisation .

(ب) التكاثف Polycondensation .

(جـ) الإضافة (الجمع) Polyaddition .

أولاً - البلمـــرة (التجميع) : هى عمليـة صف (رص) الجزيئـات غير المشبعـة للمونوميرات الفردية بعضها بجانب بعض .

مثال ذلك تـرابط جزيئـات البولى إثيلين Polyethylene مـن الإثيلين Ethylene فينتج خيط من تراصها شكل (١-٢٥) .

ثانيا - بالتكاثف Polycondensate : فى هـذه الحـالة يتم الترابط بين جـزيئين مختلفين (مونوميرين) لينتج خيط من ترابطها .

مثـال ذلك تكوين راتنج بـولى استر Polywster Risin الذى يتركب من شبكـة ضيقة التشابك شكل (١-٢٦) .

ثالثا - الإضافة (الجمع) Polyaddition : يتم الترابط هنـا بين جزيئـات متشابهة أو غير متشابهة لتكـوين جزيئـات ضخمة متشـابكة ذلك دون انفصـال أية مـواد أخرى ، وأهم نواتج البلمـرة بالجمع البوليـورتيان **Polyurethan** الرغـوى والراتنجات الأيبوكسيـة الملبدة شكل (١-٢٧) .

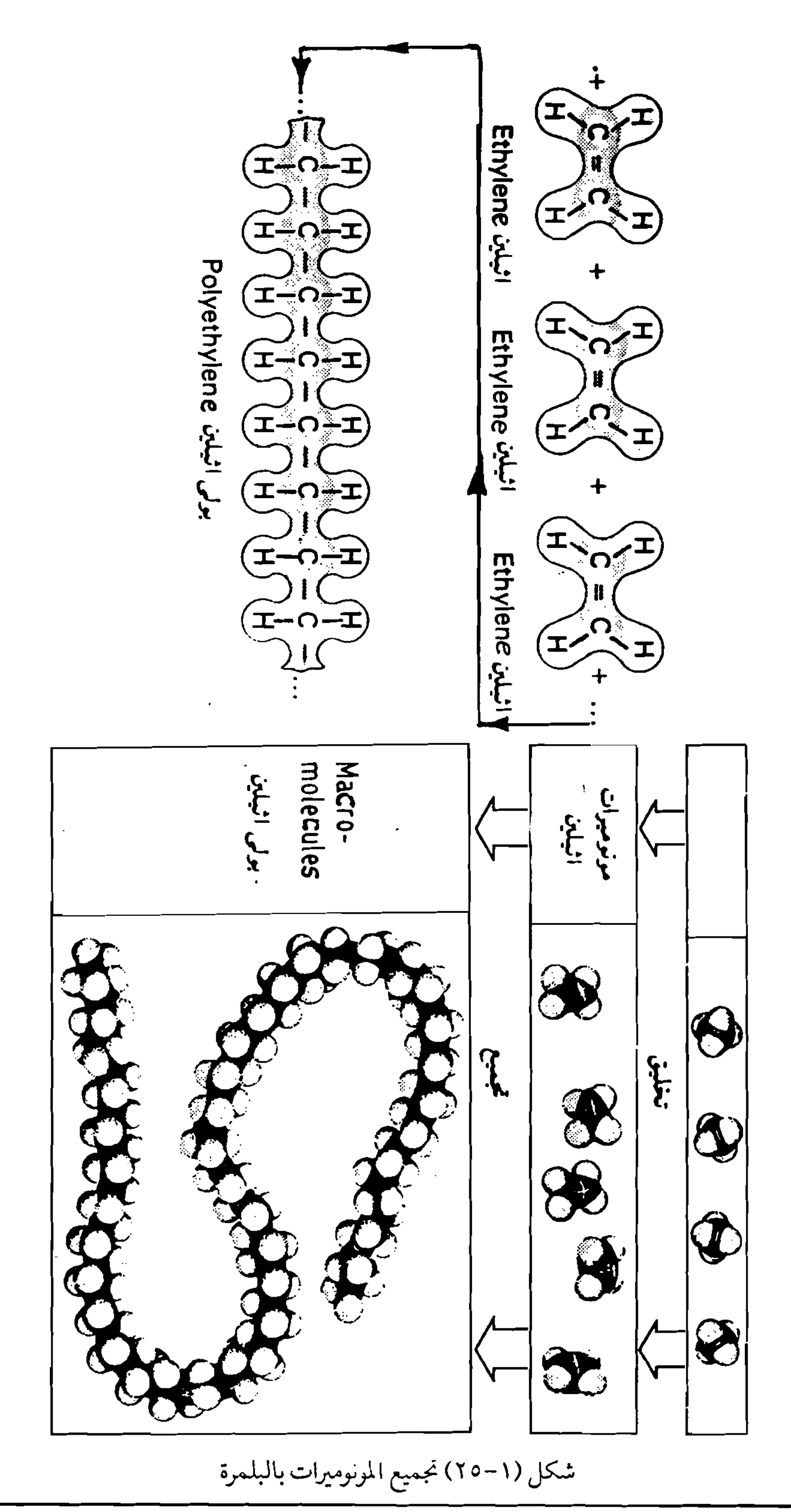
١-٨-٢- التصنيف التكنولوجى للدائن :

يمكن تقسيم اللدائن بأنواعها حسب خواصها الفيزيقية والميكانيكية كما يمكن تصنيفها حسب تركيبها الذى تتحدد بموجبها تلك الخواص إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

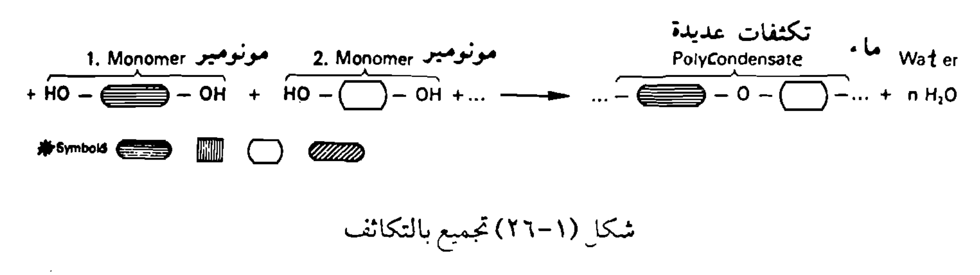
(أ) لدائن تتلدن (تطرى) بالتسخين Thermoplastics .

(ب) لدئن تتصلب بالتسخين Thermosetting (Duroplaste) .

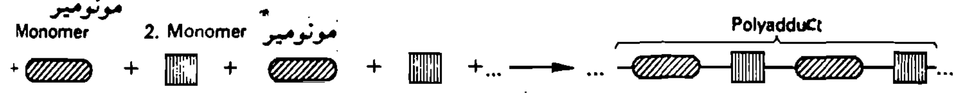
(جـ) لدائن مرنة (مطاطية) الاستومير Elastomers .



شكل (١-٢٥) تجميع المونوميرات بالبلمرة



شكل (١-٢٦) تجميع بالتكاثف

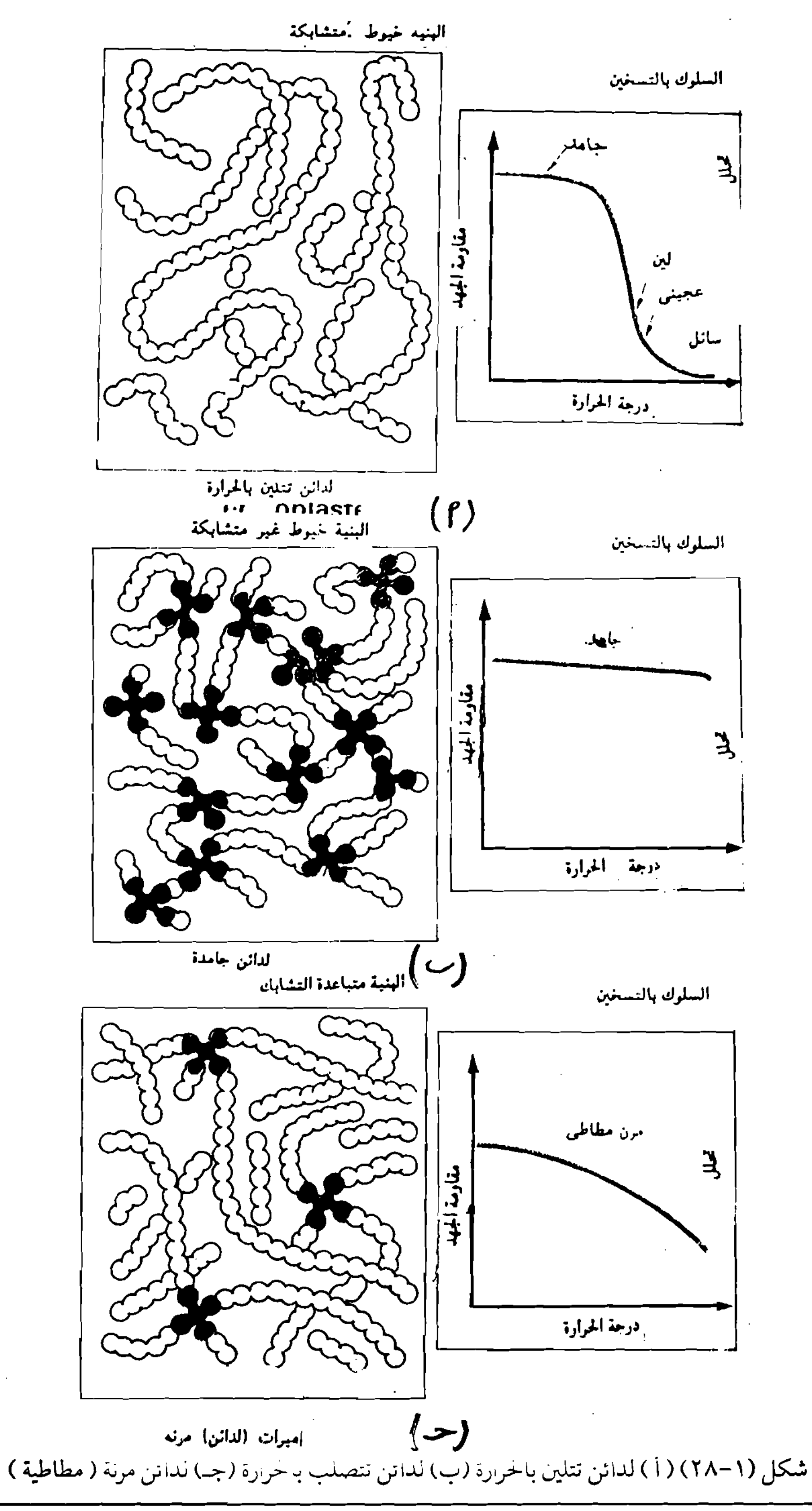


شكل (١-٢٧) تجميع بالإضافة الجمعية

١-٨-٢-١-اللدائن التى تتلدن (تطرى) بالتسخين Thermolastics : تتصف هذه اللدائن بتلينها عند تسخينها حتى درجة حرارة معينة لا يجوز تجاوزها إذ أن هذه اللدائن تتحلل بعد ذلك . وهذه اللدائن تقبل اللحام بالتسخين . وتركيبها عبارة عن سلاسل من الجزيئات (خيوط) غير متشابكة إطلاقًا كما فى شكل (١-٢٨) (أ) .

١-٨-٢-٢- اللدائن التى تتصلب بالحرارة Thermoset : هذه اللدائن تكون قابلة للتشكيل فى حدود درجات حرارة معينة فى بادىء الأمر إلا أنها تتصلب (تصبح جامدة) عند التسخين بين ١٢٧ ، ١٧٧°م . تحت الضغط فتأخذ شكل القالب الذى يحتويها ولا تغيره بعد ذلك سواء بالتبريد أو حتى بإعادة التسخين أى أنها تصبح مستقرة فى شكلها غير أنها تحترق أو تتفحم Charing إذا بولغ فى تسخينها فوق ٣٤٥°م . دون أن تتلين وبذلك تفقد تركيبها المميز وهذه اللدائن تتركب أيضًا من خيوط (سلاسل من الجزيئات) تكون متشابكة بعضها مع البعض فى مواقع كثيرة ومتقاربة وهذا ما يميز تصلبها وجمودها شكل (١-٢٨)(ب) ومن ثم فهذه اللدائن لا تقبل التشكيل بعد حصولها على شكلها الأول وكذلك لا تقبل اللحام بالتسخين على غير الحال فى اللدائن التى تتلين بالحرارة . ويمكن فقط ربط أجزائها باللصق بمواد لاصقة .

ثالثًا - اللدائن المرنة (المطاطية = الاستوميرز) Elastomers : تتركب هذه اللدائن من خيوط الجزيئات شأنها فى ذلك شأن النوعين السابقين إلا أن تشابك هذه الخيوط يكون متباعدًا شكل (١-٢٨)(جـ) وهى تتميز بسهولة التشكيل المرن فعند الشد تمكن أن تستطيل



شكل (١-٢٨) (أ) لدائن تتلين بالحرارة (ب) لدائن تتصلب بحرارة (جـ) لدائن مرنة (مطاطية)

لعدة أمثـال طولها ثم تعود إلى طولها الأصلى بإزالـة قوة الشد (المواد المطاطيـة) لذلك سميت المرات المرنة Elastomers ويؤدى التسخين إلى ليـونتها بعض الشىء أما المبـالغة فى التسخين فتؤدى إلى الاحتراق والتفكك .

وهذه اللدائن غير قابلة للتشكيل أو اللحام (إلا باللصق) .

أمثلة على الأنواع الرئيسية للّدائن :

أولاً - مجموعـة اللـدائن التى تتلين بـالحرارة Thermoplastics : وتشمل الأنـواع التالية :

- البولى أثيلين (PE) Polyethylene

يتـدرج لـونه مـن اللا لـون إلى الحليب مظهـره شمعى وسطح مصقـول يقـاوم الأحماض والقلويات .

الكثافة ٩٢, ٠ كجم للتر ، رخيص .

يصنع من أنواعه الصلدة الأوعية والأنابيب والخراطيم والرقائق للأنواع اللدنة .

البولى بروبيلين (PP) Polypropylene

يشبه فى مظهره وخواصه البولى إثيلين الصلد ولو أنه أصلد منه بعض الشىء ويحافظ على شكله حتى درجة (١٣٠°م.) ومن ثم يمكن استعماله مع المـاء المغلى .

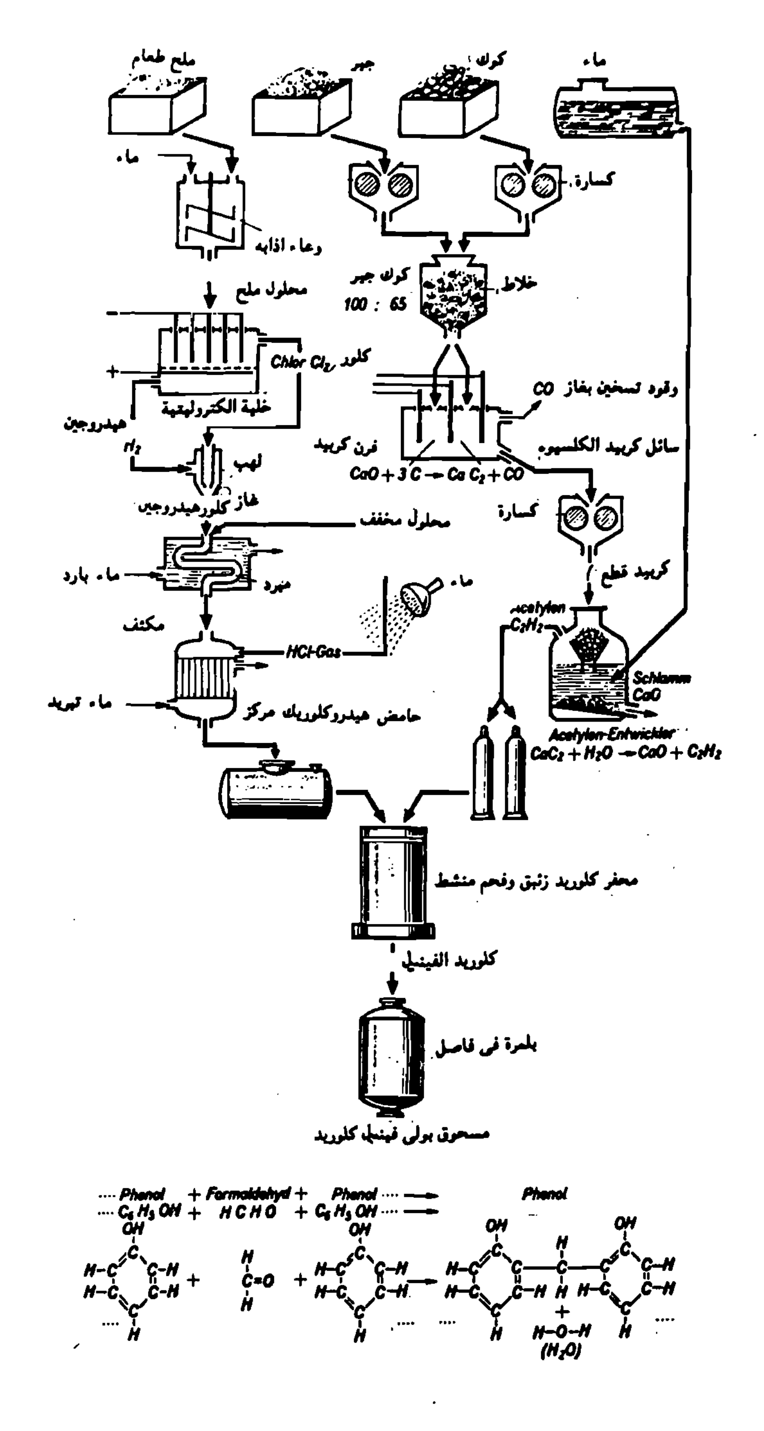
يصنع منه أجزاء الغسالات وبعض أجزاء السيارات :

- البولى فينيل كلوريد (PVC) Poly Vinyl Chloride

شفـاف وعديم اللـون ويقـاوم الأحماض والقلويـات ويـوضح شكل (١-٢٩) خريطـة الإنتاج .

الكثافة ٣٥, ١ كجم / للتر .

الأنواع الصلدة : متينة ويصعب كسرهـا ويمكن تحويلها إلى أنواع طـرية بإضافـة مواد طريـة لتشبه المطاط والجلـود الصناعية ويصنع منهـا أنابيب PVC الصلدة - أجسام وقـواعد الأجهزة والقطاعات ذات الأشكال الخاصة والصمامات .



شكل (١-٢٩) خريطة إنتاج المسحوق الخام لبلاستك البولى فينيل كلوريد

أما الأنواع الطرية فيصنع منها الجلد الصناعى والخراطيم والأحذية البوت الواقية من السوائل والقفازات ونعال الأحذية .

- البولى ستيرول (PS) Polystyrole

لا لون له وهو شفاف كالزجاج مع سطح براق ، صلد وقصيف قابل للكسر بسهولة . يقاوم محاليل الأحماض والقلويات لا يقاوم المذيبات .

الكثافة ١,٠٥ كجم / للتر .

يُصنع منه ألواح الزجاج البلاستيك (فى فترينات العرض) - أدوات الرسم (المثلثات والمساطر) والأكواب والأوعية الصغيرة . ويمكن الإقلال من كثافته بخلطه بمادة اكلير نيتريل Acrylnitril أو بوتاديين المطاط وأو بهما معًا لنحصل على أنواع جيدة جدًا من ناحية مقاومة الصدمات والكسر . يُصنع منه مقابض المفكات - المطارق البلاستيك - الأزرار - أجسام المكنات والسيارات وهناك أنواعًا رغوية منه تُصنع بإدخال غاز أثناء التصنيع لنحصل على كتل جامدة إسفنجية مسامها مغلقة (لا تسرب الهواء أو السوائل) .

الكثافة ٠,٠٢ كجم / للتر .

عازل جيد للحرارة ويعرف تجاريًا باسم ستيربور أو هاستابور (الفلين الصناعى) .

ويستعمل فى حماية الطرود القابلة للكسر (الزجاجية) وأحيانًا فى العزل الصوتى والحرارى .

البولى كربونات (PC) Polycarbonate

شفاف كالزجاج ويشبهه فى خواصه - ذو مقاومة عالية للاجهادات مقاوم للقلويات المركزة ومحاليل الأملاح والمذيبات .

الكثافة ١,٢ كجم / للتر .

يُصنع منه الزجاج المقاوم للكسر وأدوات الرسم - الهوايات والمضخات ومفاتيح الكهرباء والمقابس (البرايز والفيش) - الأدوات الميكانيكية الدقيقة والأدوات الطبية والكهربائية والأطباق المنزلية .

- البولى أميد (PA) Polyamid

لونـه أبيض كالحليب - سطحـه أملس ومقاوم للبرى - مقـاوم للأحماض والقلـويات - صلد ومتين .

الكثافة ١,١٤ كجم / للتر .

تُصنع منـه التروس - لقم كـراسى المحـاور - قضبـان الانزلاق والعجـلات والبكـرات والكامات والخزانـات - خزانات الوقود (البنزين والبترول) ويمكن تحويلـه إلى ألياف يستفاد بها فى صناعة النسيج والحبال ويُعرف تجاريًا باسم برلون أو نايلون .

- البولى مثيل ميتا كريليت أو اكريل جلاس Polymethylmethacrylate (PMMA)

شفاف كـالزجاج - يستعمل فى زجـاج البصريات - صلـد ومتين يصعب كسره - يقاوم كثير من الأحماض والقلويات والعوامل الجوية إلا أنه يذوب فى مذيب خاص به .

الكثافة = ١,١٨ كجم / للتر . (أى نصف الزجاج العادى) .

يطلق عليه تجاريًا بلكسى جلاس Plaxiglas .

يستعمل فى النظارات الواقية- الفترينات- الأسقف الشفافة- بعض الأدوات الصحية .

- بولى تترا فلور إثيلين Polytetrafluorethylene (PTFE)

أبيض كـالحليب ، شمعى ، طـرى قـابل للثنى ومتين ومقـاوم للبرى ، مقـاوم لفعل الكيماويات ، يقاوم فعل درجات الحرارة على مدى كبير (من - ١٥٠°م. إلى + ٢٨٠°م.) .

الكثافة ٢,٢ كجم / للتر .

يستعمل فى لقم كراسى المحـاور - المعدات الكيميائية - الحشيـات (الجوانات) ومواد التزليق .

ثانيا - مجموعة اللدائن التى تتصلب بالحرارة Thermoset : يمكن أن توجـد هذه الأنواع على هيئة خامات سائلة أو مسـاحيق يمكن تحويلها من خيوط غير متشابكة فى تركيبها الداخلى إلى متشابكـة فى تركيبها الداخلى إما بإضافـة مواد مصلدة أو بتأثير التسخين والضغط بعملية تسمى التصليد ، وتشمل الأنواع التالية :

- الفينول (الراتنجى) Phenolic Resin (PF)

لونه بنى فاتح يقتم بالزمن له رائحة مميزة - صلد وقصيف وقابل للكسر .

الكثافة = ١,٥ كجم / للتر .

تحشى مادته عادة بمواد حشو مثل مجروش الزلط أو نشارة الخشب أو النسيج لتحويله إلى مادة تشكل بالضغط لاكتساب خواص خاصة ورخيصة .

- الملامين (الراتنجى) Melamine Resin (MF)

عديم اللون إلى أصفر فاتح يقتم بمضى الزمن - سطح لامع لا رائحة له - يتحمل الماء المغلى - صلد - قصيف - قابل للكسر .

الكثافة = ١,٥ كجم / للتر .

يحشى عادة بمواد حشو لخفض التكلفة واكتساب خواص معينة . يستعمل فى الحالة النقية كمادة لاصقة للخشب (غراء صناعى) . ويحشى بمواد أخرى لصناعة الأجزاء الصغيرة وأجسام المكنات والمعدات .

- البولى استر (الراتنجى) غير المشبع Unsaturated Polyster Resin (UP)

عديم اللون شفاف كالزجاج تختلف أنواعه من الصلدة إلى اللينة إلى المرنة - ذو قوة تماسك والتصاق عالية سهل الصب .

الكثافة = ١,٢ كجم / للتر .

يستعمل كمادة لاصقة للمعادن - البويات الراتنجية المقاومة للتخدش - المصبوبات الراتنجية لعمل النماذج - مادة رابطة للألياف الزجاجية المدعمة للدائن .

- الراتنجات اللابوكسية Epoxi Resin (EP)

عديم اللون إلى اللون العسلى - صلد ومتين ومقاوم للكسر وقابلية جيدة للصق والصب ومقاوم للأحماض والقلويات ومحاليل الأملاح والمذيبات .

الكثافة = ١,٢ كجم / للتر .

يستعمل أساسًا كمادة لاصقة - وفى البويات والمصبوبات وصناعة المواد البلاستيكية

المدعمة بـالألياف الـزجاجية أو الكـربونيـة وصناعة القـوارب وأجسام الطـائرات والسيارات والأجهزة الرياضية والألواح المتموجة للأسق .

- راتنجات البولى يوريثين (PUR) Polyurethane Resin

لونه عسلى شفاف من أنواعه : الصلد والمتين والطرى والمطاطى له قوة لصق عالية يصلح للمنتجات الرغوية - مقاوم للأحماض والقلويات الخفيفة ومحاليل الأملاح والمذيبات .

يستعمل فى اللقم الصلدة للكراسى والتروس والسيور المسننة وإكصدامات السيارات - والعجلات - وتصنع من أنواعه الطرية الجوانات والحشيات . كما يستعمل فى صناعة البويات واللواصق كما يمكن صناعة أنواع عديدة من الرغويات الصلدة أو الطرية أو المرنة .

- الراتنجات السليكونية (SI) Silicon Resin

لونه كالحليب طارد للمياه والمواد اللاصقة تتدرج خواصه من صلد جامد إلى طرى مرن . يقاوم الزيوت ولا يقوم الأحماض أو القلويات أو المذيبات .

يستعمل فى صناعة البـويات العازلة والمقاومة للماء (يطرد المـاء) ويُصنع منه الجوانات والحشيات ومصبوبات النماذج .

ثالثًا - اللدائن المرنة الاستومير Elastomers : أمكن صناعـة مواد مرنة صنـاعيًا من خلال هذه المجموعة والتى يطلق عليها الكاوتشوك البوتاديين أو الصناعى .

١-٨-٢-٣- المطاط (الكاوتشوك) :

١-٨-٢-٣-١-المطاط الطبيعى Natural Rubber :

المطـاط الطبيعى هـو مادة هيدرو كـربونية تركيبهـا عـام $(C_5H_8)n$ حـين n تزيـد على ١٠٠٠ وتتركب جـزئيات المطـاط مـن سـلاسـل حلقيـة متعـددة التشـابك من وحـدات الأيزوبرين Isoprene بالتركيب والبنية التالية :

$$\begin{array}{l} -CH_2-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2-[\,CH_2-\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2\,] \end{array}$$

وتستخرج هذه المـادة من شجرة الهيفيا Hevia التى تنتشر فى المناطق الحارة الـرطبة مثل

سيلان والملايو وأفريقيا . ويستخرج المطاط من شجرة على صورة عصارة لبنية Latex وهى مستحلب أبيض Emulsion يتكون من كريات هيدرو كربونية معلقة فى مصل مائى Serum وهذه العصارة تحتوى على نحو ٣٥٪ هيدرو كربون (مطاط) + ٦٠٪ ماء + ٥٪ بروتينات وأحماض دهنية ويجرى أولاً تخفيف نسبة وجود المطاط من ٣٥٪ حتى تصبح نسبته ١٥٪ ويجرى على المحلول عملية تخثر (إنعقاد أو تروب) Coagulation بإضافة حامض الخليك Acetic Acid أو حامض النمليك Formic Acid ثم يعصر المطاط لاستبعاد السوائل ثم يغسل بالماء ويجفف للحصول على المطاط الخام بدخان حريق أشجار جوز الهند لمدة أسبوعين عند ٥٠°م. فيتحول المطاط إلى اللون البنى (الدخان يقى المطاط من التعفن من جراء ما قد يبقى به من المصل المائى) فى صورة ألواح تسمى المطاط المدخن Smoked .

ويمكن الحصول على نوع من المطاط الطبيعى غير داكن اللون بإضافة بيكبريتيت الصوديوم Sodium bisulphite إلى العصارة اللبنية قبل التخثر ثم تتوالى العمليات السابقة دون التعريض للدخان ويكون المطاط الناتج محتويًا على نحو ٩١٪ مطاط + ٥ , ٠٪ رطوبة + ٣ , ٠٪ مواد قابلة للذوبان فى الأسيتون + مواد قابلة للذوبان فى الماء والباقى بروتينات والمطاط الخام بصورته هذه لا يصلح للاستخدام الصناعى المباشر لرداءة خواصه ومنها تحوله إلى مادة لزجة بالتسخين وتصلبه بالبرودة (فقده للمرونة) هذا بجانب رائحته الكريهة وذوبانه فى المذيبات العضوية كزيت البترول ومشتقاته . لذلك يعالج المطاط الطبيعى الخام بمعالجة خاصة تسمى الطبخ أو الفلكنة Vulcanizing بتسخين المطاط الطبيعى مع الكبريت عند درجة حرارة ١٤٠°م. لمدة ساعتين حيث يتحد الكبريت جزئيًا مع جزئيات المطاط ويمكن اسراع بالفلكنة بإضافة مركب **Diphenylguandine $[C_6H_5NH]_2$ C NH**

أو مركب **Mercaptobenzothiazole, C_6H_4 N C(S) SH**

وذلك فى حدود (١ , ٠ إلى ٥ , ١٪) فينخفض الزمن إلى ٣ دقائق ودرجة الحرارة إلى ٩٠°م. وقد تتم الفلكنة فى درجات حرارة الجو العادى لمدة دقائق قليلة فى محلول كلوريد الكبريت (S_2CI_2) وعند الطبخ مع الكبريت بنسب مرتفعة (٥٠٪) وإطالة التسخين فإن المطاط يتصلدويتحول إلى ما يعرف بالمطاط الصلد أو أبونيت Ebonite وفلكنة المطاط الخام تكسبه الخواص التالية :

١ - زيادة مرونته أى ينقص التشكيل (اللدن) الباقى بعد زوال الحمل Small Permanent set .

٢ – زيادة مقاومة الشد .

٣ – زيادة مقاومة المطاط للتلف بفعل درجة الحرارة .

٤ – زيادة مقاومة المطاط للتلف بالذوبان فى المذيبات .

والمطاط الطبيعى يتلف (يجف ويتشقق) نتيجة لتأكسده خاصة إذا تعرض لحرارة الشمس إلا أنه يمكن زيادة مقاومته لهذه الأكسدة بإضافة مواد مساعدة أهمها :

Aldol, alpha phenyl amine

Phenyl - βnaphthyl amine

ويمكن من ناحية أخرى زيادة تماسك المطاط وخواصه الميكانيكية بإضافة ألياف القطن أو الاسبستوس (الحرير الصخرى) ومسحوق الكربون وأكسيد الزنك . أما إذا أريد الحصول على مطاط طرى فإن إضافة بعض الأحماض الدهنية مثل حامض الستياريك أو بعض الزيوت النباتية قبل المعاملة بالكبريت تفيد فى هذا المقام . كما أنه يمكن تقوية المطاط بنسيج من الكتان أو القطن أو التيل أو خيوط الألياف الصناعية (كما هو مستخدم فى إطارات السيارات) وخراطيم الكاوتشوك المستخدمة فى الضغوط العالية . ويمكن تكوين المطاط بتبيضه بالتيتانيا (أكسيد التيتانيوم) وكذلك يلون بألوان أخرى بالصبغات مثل Ultramarine blue .

ولما كانت خواص المطاط الطبيعى لا تفى بكل متطلبات الاستخدام والوفاء بكل الصفات المطلوبة فى كثير من الأحيان هذا بجانب عدم إمكانية كفاية الإنتاج العالمى للاستهلاك وزيادة أسعاره أدى ذلك إلى التفكير فى مادةبديلة مناظرة . وقد تم ذلك قبل وإبان الحرب العالمية الثانية عندما انقطع توريد المطاط من الشرق الأقصى إلى الدول الأوروبية المشتركة فى الحرب فتم ابتكار المطاط التخليقى (المطاط الصناعى) .

١-٨-٣-٢- المطاط (الكاوتشوك) الصناعى :

لونه أصفر إلى بنى قاتم يلون عادة إلى الأسود باستعمال السناج (كربون غير محروق) وتختلف خواص أنواعه من المرن الجامد إلى المرن الطرى يمتص الصدمات والاهتزازات وتقاوم التشيخ (التقادم أو التعتيق) ويقاوم البرى .

ورغم أن المطاط الصناعى يتفق مع الطبيعى فى معظم خواصه إلا أنه لا يتفق معه تمامًا فى تركيبه والمطاط الصناعى ينتج بالتحكم فى عملية بلمرة أو مضاعفة الأصل (تجميع) .

Polymerisation بالبـدء بمواد وزنها الجزيئى ضئيل وسائلـه والتجميع (بلمرة) حتى تصبح جزيئات كبيرة فى الحدود المطلوبة ويحضر المطاط الصناعى على هذا المبدأ بعمل مستحلب من المواد الأولية مع محلـول المـاء والصابـون مع عامل مسـاعد للبلمرة تحت ضغط ودرجـة حرارة وزمن محددين تمامًـا تـوقف بعدة البلمـرة (عنـد الحد المطلوب) ثـم تجرى بعد ذلك المعـالجة بالكبريت ومشتقاته وإضافات التقويـة والتلوين بالصبغات . وتختلف أنواع المطاط الصناعى باختلاف المواد الأولية المستخدمة والتى يجرى بلمرتها وفيها يلى أهم هذه الأنواع :

١-٨-٣-٢-١- مطاط بوتادين - ستيرين Butadiene Styrene G.R.S. :

تكـون المـادة الأوليـة فى المطاط الصنـاعى المعروف بـاسم G.R.S. هى البوتـادين وهو المناظر للايزوبرين (المطاط الطبيعى) وتصير البلمرة باستخدام الأستيرين ثم يوقف عند الحد المناسب :

$$CH_2 = CH - CH = CH_2$$

بوتادين

$$CH_2 = \underset{\underset{CH_3}{|}}{C} - CH = CH_2$$

إيزوبرين

$$CH_2 = CH - C_6H_5$$

ستيرين

$$CH_2 = CH - C = N$$

اكريلونترين

١-٨-٣-٢-٢- مطاط البوتادين - أكريلونترين Butadiene - Acrylonitrile G.R.A. :

تكـون المـادة الأوليـة فى المطاط الصنـاعى المعروف بـاسم G.R.A. هى البـوتـادين وتتم البلمرة باستخدام الأكريلونترين .

١-٨-٣-٢-٣- مطاط النيوبرين Neoprone G.R.M. :

يُحضَّـر هـذا النوع ببلمرة جزيئـات مادة الكلوروبوتـادين ثم يفلكن فنحصل على مطاط

$$CH_2 = \underset{\underset{Cl}{|}}{C} - CH = CH_2$$

صناعى لـه مقاومة عـالية لإذابة الـزيوت والبترول ومقـاومة للحرارة والضـوء أعلى من المطاط الطبيعى .

١-٨-٣-٢-٤- المطاط البوتيلى Batyl Rubber :

ويتم تحضيره بتفاعل الأيسوبوتيلين مع الوسيط المبلمر الأيزوبرين أو البوتادين ويتفوق

$$CH_2 = C(CH_3)_2$$

هـذا النوع من المطـاط على الطبيعى فى مقاومتـه للتشيخ أو التعتيق (Aging) أى التلف بمضى الزمن وكذلك مقاومته للتفاعلات الكيميائيـة . ويتميز كذلك بارتفاع مقاومته لنفاذية الغازات ولذلك تصنع منه الإطارات الداخلية للسيارات .

١-٨-٣-٢-٥- مطاط الثيوكول Thiokol :

ويحضَّـر بتفاعل ثانى كلوريد الأيثيلين مع رابع كبريتيد الصوديوم :

$$nCH_2\,CI\text{-}CH_2\,CI + nNa\text{-}S_4\text{-}Na\ [\text{-}CH_2\,CH_2\text{ - }S_4]_n + \text{-}2n\ NaCI\ \text{Thiokol}$$

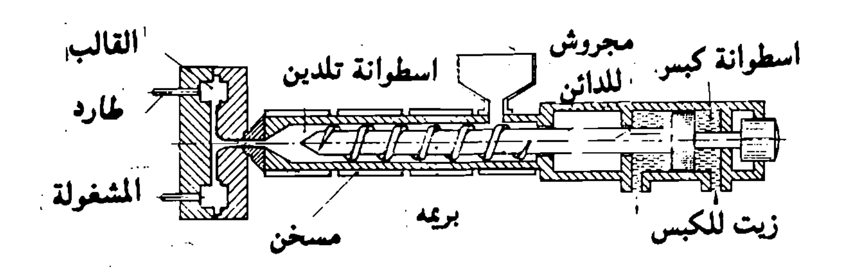
ويفلكن مطـاط الثيوكـول بالحرارة فقط ويكتســب بعد ذلك خـواص طيبة فى مقـاومة الإذابـة وخاصـة الــبترول . وبصـفة عـامة يمتـاز المطاط الصــناعى عن الطبيـعى بارتفــاع مقـاومـة تـأثير البترول ومشتقـاتـه وضـــوء وحـرارة الشمس والأكسجين وكــذلك بخـواص ميكانيكية أفضل .

١-٨-٣-٣- تشكيل اللدائن :

تتعدد طرق ووسـائل تشكيل اللدائن تبعًا لخواص هذه اللدائن سـواء كانت من الأنواع التى تتلين بالحرارة أو التى تتصلد أو تستقر بالحرارة أو تلك المرنة .

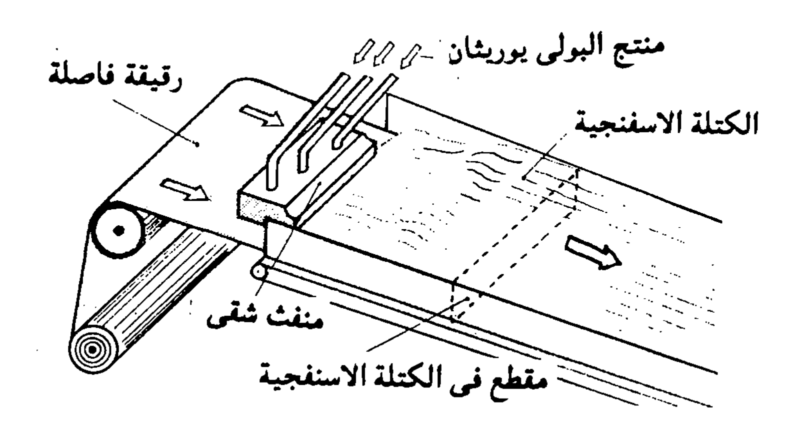
فالأنواع الأولى التى تتلين بالحرارة تُصنع أولاً فى صورة مجروش من حبيبات صغيرة كمادة خـام للتصنيع بينما يكون خـام النوعين الآخـرين فى صورة مسحـوق أو سائل ومن المعلـوم أن الأنـواع الأولى التى تتلين بالحرارة يمكن تشكيلهـا بكافـة وسـائل التشكيل بالتسخين لتأخـذ شكلاً لأجـزاء معينة وكذلك يمكن إعـادة تشكيلها مـرات أخرى وإلى أشكال أخـرى بإعادة التسخين بينما لا يصلح ذلك فى النوعين الآخرين أى التى تتصلد (تستقر) بالحرارة أو الأنواع المرنة فهـذه يمكن تشكيلها بـالتسخين فى أول الأمر حتى تأخذ الشكـل المطلوب ثم لا يمكن إعادة تشكيلها بأى حال من الأحوال .

وتتعـــدد طــرق التشــكيل منهــا الأكثــر استعمـــالاً وهى طريقــة الحــقن فى قــوالب بالأشكال المطلوبة للمنتجـات شكل (١-٣٠) كما يمكن درفلة البلاستيك والمطاط الصناعى



شكل (١-٣٠) حقن البلاستيك فى قوالب

إلى ألــواح مختلفــة من المطــاط الخالص أو المدعم بنسيج مــن القطن أو التيــل أو الخيــوط الصناعية أو خـلائط منها ومن ناحية أخرى يمكن تحويل اللدائن إلى كتل أو منتجـات رغوية سواء صلدة (للتعبئـة) أو لدنة (الاسفنجية) أو مـرنة بنفخ غاز فى المنتج أثنـاء تليينه بالحرارة شكل (١-٣١)



شكل (١-٣١) تحويل اللدائن إلى مادة رغوية (أسفنجية)

١-٩- **الخزفيات (السيراميك) :**

تطلق صفة الخزفيات أو السيراميك كتعبير دارج لأدوات منزلية أو بلاطات التكسية (القيشانى) . إلا أن التعبير يمتد فى الحقيقة ليشمل منتجات هندسية عديدة مثل الزجاج ، الطوب ، الأحجار ، الخرسانة ، المواد الساحجة ، طلاء الصينى (بوسيلين بالمينا) ، العوازل الكهربائية ، المواد المغنطيسية غير المعدنية ، الحراريات (المواد المقاومة للحرارة وغيرها وغيرها) . وكل هذه الأنواع من الخزفيات تشترك فى كونها مركبات من مواد معدنية مع مواد غير معدنية. فمثلاً المغنسيا Mg O تمثل أبسط أنواع الخزفيات إذ أنها تستعمل لتقاوم درجات الحرارة بين 1600 ، 2500م دون أن تتلف أو تنصهر ، والطفلة clay هى مادة سيراميكية أبسط أنواعهاهى $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$. وكان لقدماء المصريين السبق فى ابتكار واستخدام أولى أنواع الخزفيات بحرق الصخور لإنتاج المصيص المعروف حاليًا باسم الجبس (Plaster of Paris) كما صنعوا الزجاج بتسخين الرمال وتبعهم الرومان الذين استخدموا الصخور البركانية Volcanic Rocks فى الأبنية والرصف والجسور وفى القرن الماضى فقط حرق البريطانيون الطفلة مع حجر الجير لإنتاج الأسمنت البورتلاندى .

وتصنع الخزفيات بصفة عامة من مساحيق مكوناتها المعدنية مع غير المعدنية بخلطها بالماء (أحيانًا مع مواد رابطة مساعدة أخرى) لتكوين عجينة متجانسة من الخليط يمكن تشكيلها إما فى قوالب بالشكل المطلوب بالصب أو بالضغط عليها أو بالبثق ثم تجفيفها ويتبع ذلك حرقها لتلبيدها ويمكن بعد ذلك اكسابها سطحًا زجاجيًا بعملية التزجيج (كما فى صناعة القيشانى والأدوات الصحية وبورسيلين المائدة) Vitrification برشها أو دهان أسطحها بمادة أكاسيد ذات ألوان خاصة ثم تحرق فى درجات حرارة تتراوح بين 820 ،1100م لعدة أيام (5-7) وذلك لاكسابها مظهرًا جميلاً ولجعل أسطحها غير منفذة الماء والهواء والرطوبة (محكمة) .

وسوف نهتم فى دراستنا الموجزة هذه بأهم أنواع الخزفيات ذات التطبيقات الهندسية الخاصة منها والعامة .

١-٩-١- **الخزفيات الهندسية الخاصة بتطبيقات الهندسة الميكانيكية :**

وهى أنواع تتفوق فى بعض خواصها على خواص السبائك المعدنية فائقة الخواص وأهم

هذه الخواص المميزة هى : خفة وزنها بالنسبة للمعادن مما يساعد على صنع أجزاء دوارة سريعة - ارتفاع درجة انصهارها - مقاومتها العالية للإجهادات - صلادة وجسادة عالية - عدم تشكلها تحت تأثير الإجهادات ومن ثم فمقاومتها للزحف تكون عالية - مقاومة عالية للتآكل والبرى .

١-٩-١-١- خزفيات أكسيد الألومنيوم Al_2O_3

- خواصها : صلدة جدًا - مقاومة للبرى - مقاومة لفعل الحرارة والتفاعلات الكيميائية - يصنع منها أطراف حدود القطع فى العدد القاطعة عند السرعات العالية وارتفاع درجة الحرارة - تصنع منها فوهات اسطمبات سحب الأسلاك ومكابس المضخات - بعض المعدات الطبية .

١-٩-١-٢- خزفيات أكسيد الزركونيوم ZrO_2

- خواصها : حساسة للكسر(قصيف) - مقاومة لفعل الحرارة المرتفعة والتفاعلات الكيميائية - تصنع منها فوهات اسطمبات السحب والبثق .

١-٩-١-٣- خزفيات كربيد السليكون SiC

- خواصها : صلدة جدًا مقاومة للبرى وفعل درجات الحرارة العالية - تصنع منها مواد السحج (الصنفرة وأحجار التجليخ) - الصمامات - كراسى المحاور - المكابس - غرف الاحتراق فى المحركات .

١-٩-١-٤- خزفيات نيتريد السليكون Si_3N_4

- خواصها : حساسة للكسر (قصيفة) مقاومة لفعل درجات الحرارة المرتفعة - تصنع منها أطراف القطع الخزفية - ريش التربينات الغازية (الثابتة والدوارة) .

١-٩-١-٥- خزفيات تيتانات الألومنيوم Al_2TiO_5

- خواصها : معامل تمددها الحرارى ومعامل مرونتها منخفضين عازلة جيد للحرارة - مقاومة للتغيرات الحرارية (الصدمات الحرارية) تصنع منها بطانة قوالب الصب لأجزاء المحركات وبطانة المكابس وبطانة أنابيب العادم .

١-٩-١-٦- المواد الحرارية Refractory Materials :

المواد الحراريـة هى مواد تتصف بعـدم تغيير خواصهـا بارتفـاع درجة الحرارة (درجـات الحرارة فوق ١٠٠٠°م) وبمقاومتها العالية لفعل درجات الحرارة المرتفعة مثل مقاومتها للصهر أو التشكيل أو تأثـرهـا بمرور غـازات الاحتراق أو مـلامستهـا للمعادن والسبـائك المنصهـرة بـالتفاعل معهـا وبـالتالى بـريها أو تـآكلها . أو جعـل المواد أو السبائك لا تتأثـر بها وتغير من تركيبها . وكذلـك انخفاض معامل تمددها وانكماشها بالتسخين والتبريـد ومقاومتها للخدش وللكسر وتكون متينة وهى ساخنة لمقاومة للإجهادات التى تتعرض لها . والمواد الحرارية تتركب أساسًا من الأكاسيـد والكربيدات والمركبات التى لا تنصهر إلا فى درجات حـرارة مرتفعة فوق الحدود المزمع استخـدامها فيهـا وهى فى المعتـاد خـلائط من هذه المركبـات تكـون على شكل حبيبـات مترابطة بعضهـا مع البعض بمـواد رابطة (حـرارية أيضًـا) لتكـوين بنية متماسكـة بالشكل المطلـوب وتصبح صامـدة لدرجات الحرارة التى ستتعـرض لها وهذه المواد قـد تكون بنيتها حامضية أو قاعدية أو متعادلة .

والمواد الحرارية الحامضيـة تكون عـادة من أكسيد السليكـون (السليكا SiO) أو كربيد السليكون (SiC) أوالزركونيوم (Zr) وتربط حبيبات هـذه المركبات بمواد متعادلـة أو حامضية حتى لا تتفـاعل مع مواد الـربط (إذا كـانت قاعـديـة) وتبرى (تتآكل) وكـذلك لا يجوز أن تستخـدم هذه المواد الحراريـة الحامضية مع مـواد منصهرة قـاعـدية كـالخبث القاعـدى وإلا تفاعلت معه وكونت أملاحًا وبالتالى تتآكل . أما المواد الحرارية القاعدية فمعظمها من أكاسيد الألومنيوم (الألـومينا Al_2O_3) ، المجنيـزيت MgO والكروميت Chromite وبعض المواد الحراريـة تتعجن إذا خلطت بالماء وبـالتالى يسهل تشكيلهـا ثم تجفيفها وتحميصهـا . والبعض لآخر لايصلح فيهـا الماء لعملية الـربط المنشودة بين الحبيبـات فتستخدم مـواد رابطة حـرارية خاصـة لهذه المهمة تخلط بها وتشكل معهـا . ومن المواد الحـرارية تشـكل البواتق Crucibles التى تصهر فيها المعادن والسبائك وتبطن بها الأفران بـاستخدام مونة حرارية والطوب الحرارى والمونـة الحراريـة يجب أن تصمد لـدرجـات الحرارة حتى نحـو ٣١٠٠°م . ويمكن تصنيـف البواتق الحرارية حسب المواد المصنوعة منها على النحو التالى :

١ - البواتق الفخاريـة وهى متوسطة فى مقاومتها لـدرجات الحرارة وتصنع من مسحوق

الطفلة (Clay) ومسحوق بقايا البواتق القديمة ويضاف مسحوق الفحم للحد من التمدد والانكماش أثناء السخين أو التبريد .

٢ - بواتق الجرافيت (البلمباجو Blumbago) وهى مواد سوداء تتركب من الطفل والجرافيت وهى أطول عمرًا من البواتق السابقة .

٣ - بواتق الرصاص الأسود (أو سلامندرSalamander) وتصنع من حبيبات الجرافيت الخشن وهى تتحمل الصدمات الحرارية (أى التسخين والتبريد بسرعة) .

والمواد الحرارية بصفة عامة يمكن تصنيفها حسب حامضيتها أو قاعديتها .

المواد الحامضية : الكاولين Caolin (طفل صينى) - والطفلة كروية الحبيبات- والطين الأسوانى .

والمواد السليكونية : كالرمل والزلط - والكوارتز الحجر البركانى والجانستر - والسليمانيت - والكيزجور Kieselguhr .

والمواد القاعدية : البوكسيت (Bauxite هيدروكيد الألومنيوم أو الألومينا) والجير - والمغنسيا - والدلوميت .

المواد المتعادلة : الجرافيت (البلمباجو) - الكربورندم أو (الكربوفراكس) - الكروميت (غفل من أكاسيد الحديد والكروم) .

١-١-٩-٧ - المواد الحرارية العازلة للحرارة :

وتنقسم إلى الأنواع التالية :

١ - مواد عازلة للتبريد :

مثل الفلين - خبث أفران المعادن (صوف الخبث) والصوف الزجاجى والمطاط الرغوى .

٢ - مواد عازلة للحرارة لمرتفعة : عجينة الطفل والطين الحرارى (الكيزجور) ألياف الكتان أو الاسبستوس وتستخدم كلها فى شكل عجينة تغطى مواسير نقل البخار وهى ساخنة (حتى لاتتشقق) .

وكذلك قد تستخدم عجينة المغنسيا (كربونات المغنسيوم) مع ألياف الاسبستوس Asbestos .

٣ - مـواد عـزل الأفـران من الـداخل (لمنع التسرب الحرارى للخـارج وهى لا تتعـرض للتسخين المبـاشر) . وأهم هــذه المواد الطين الـديـاتـومى Diatomic Clay Kieselgur (الكيزلجور) المخلوط بالطفلة ونشارة الخشب وألياف القطن .

٤ - الحرير الصخرى : (الاسبستوس) .

وهو من المواد المستخدمة على نطاق واسع فى العزل الحرارى فيصنع على صورة خيوط أو أحبال أو مسحـوق أوألواح أو أقمشة وهو مـركب من سليكات المغنسيوم مع الجير والألـومينا والحديـد . ولوأن استخـدامها بـدأ يبطل بسبب سميتهـا وتلويثهـا للبيئـة وتسببها فى أمـراض السرطان .

١-٩-٢ - المواد الساحجة Abrasive Materials

وهى مواد تكـون صلادتها مرتفعة بحيث تستطيع خـدش أو حك أو سحج وبرى المواد الأخرى وتستخدم فى شحذ العدد وتسوية الأسطح الصلـدة بالعملية المعروفة باسم التجليخ . وهذه المواد الساحجة تتفاوت أحجام حبيباتها وأشكالها إلا أنها تتصف بأركانها الحادة وبذلك تصلح للخدش . وتصنع من هـذه المواد أحجار تسمى أحجار التجليخ Grinding Wheels وهى تتركب أساسًا من مادتين رئيسيتين .

(أ) المادة الساحجة (أو الخادشة أو القاطعة) Abrasive .

(ب) المادة الهابطة Binder .

والمادة الساحجة إمـا أن تكون طبيعية Natural أو صناعيةArtificial والمواد الساحجة الطبيعية تتكون من :

١ - السليكا أو الرمل أو الكوارتز الصلد .

٢ - مسحوق الحك (الصنفرة) من أكسيد الألومنيوم - أكسيد الحديد .

٣ - مسحوق الكوراندم Corudum وغالبته من أكسيد الأمونيوم المبلور مع قليل (١٠٪) من أكسيد الحديد .

٤ - حبيبات أو تراب الماس Diamond .

٥ - العقيق الأحمر Garnet .

والمواد الساحجة الصناعية أهمها :

١ - كربيد السليكون .　　٢ - أكسيد الألومنيوم.　　٣ - كربيد البورون .

أما المواد الرابطة فأهمها :

١ - المواد المزججة : Vitrified

تصنع بالتلبيد أو الحرق للطفلة وتحويلها إلى مادة زجاجية تقوم بربط الحبيبات الساحجة بعضها ببعض وبقوة (تعجن المواد الساحجة بالطفلة وتكبس فى قوالب بالشكل المطلوب ثم تحرق للتلبيد لمدة طويلة .

٢ - الزجاج المائى : Water glass

وهو من سليكات الصوديوم والبوتاسيوم وهى مادة سائلة تخلط بالمادة الساحجة ويشكل المعجون فى قوالب بالشكل المطلوب ويجفف ثم يلبد عند درجة حرارة ٣٦٠°م لعدة أيام (أو بالتعرض لغاز ثانى أكسيد الكربون) .

٣ - المواد الراتنجية :

تخلط المواد الحاكة بالمود الراتنجية Shellac فى خلاط مسخن بالبخار ويشكل المعجون فى قوالب معدنية ساخنة بالكبس بالشكل المطلوب ثم تلبد عند ١٥٠°م .

٤ - المطاط :

يخلط المطاط النقى والكبريت (كمادة مفلكنة) ويعجن الخليط ثم يشكل بالشكل المطلوب وتترك لتجف .

وتصنف أحجار التجليخ حسب حجم حبيبات المواد الساحجة ونوعها ومدى تجمعها أو تقاربها ثم حسب صلادة المادة الرابطة .

وتصنع أحجار التجليخ بأشكال مختلفة لتناسب الأغراض التى ستستخدم فيها (حجماً وشكلاً) .

١-٩-٣- الخزفيات الهندسية العامة .

سوف نهتم من أنواعها بالأسمنت - الزجاج وذلك فى إيجاز شديد للتعرف عليها.

١-٩-٣-١- الأسمنت Cement

يعتبر الأسمنت من المواد الأساسية المستخدمة فى بناء المنشآت إما كمادة رابطة بين الأحجار أو بتكوين عناصر أساسية فى المنشآت بعد خلطه بالرمل أو الزلط وتسليحه بالحديد (الهياكل المعروفة بالخرسانة المسلحة) .

والأسمنت قد يكون طبيعيًا ينتج بحرق وطحن الأحجار المحتوية على الطين الطفلى (الصلصالى) الذى يحتوى على كربونات الكالسيوم وكربونات المغنسيوم (بنسبة تتراوح بين ٢٠ ، ٤٠٪) والأسمنت الطبيعى لونه بنى ويتصلب ويتصلد بسرعة كبيرة عقب خلطه بالماء إلا أن قوته أقل من الأسمنت الصناعى ولذلك فاستخدامه محدود .

والأسمنت الصناعى ينتج بحرق خلائط من صخور كلسيةCalcareous وصخور طينية Argillaceousبنسب يتم التحكم فيها . ويضاف إلى مخلفات لاحتراق Clinke قليل من الجبس ويتكون فى النهاية مسحوق هو المعروف بالأسمنت ويوجد من الأسمنت أنواع عديدة وأهمها الأسمنت العادى الذى يتصلب بعد فترة من إضافة الماء إليه وهو المعروف بأسمنت بورتلاندى Portland Cement (ابتكر صناعته بناء فى ليدز فى انجلترا ١٨٢٤) وهو عندما يتصلد فإنه يناظر الزلط والأحجار التى توجد بوفرة فى بورتلاند بإنجلترا ولذا أطلق عليه هذا الاسم وفى مصر ينتج الأسمنت من مناطق محاجر عديدة أهمها المحاجر جنوب القاهرة عند حلوان والمعصرة والسويس وأسيوط حيث توجد مصانع الأسمنت حاليًا .

ويتركب الأسمنت المعتاد فى المتوسط من :

٦٢٪ أكسيد كالسيوم (جير)	CaO
٢٢٪ سليكا	SiO_2
٥ ٪ ألومينا	$AI_2 O_3$
٤ ٪ كبريتات كالسيوم	$Ca SO4$

والباقى أكسيد حديد $Fe_2 O_3$ + مغنيسيا MgO + كبريت وقلويات . وتلعب هذه العناصر مجتمعة أدوارًا مختلفة فى إكساب الأسمنت لخواصه المعروفة فالجير والسليكا وأكسيد الحديد والمغنسيا تكسبه القوة والصلادة بينما تكسبه الأمونيا سرعة االتصلد (إلا أن زيادتها تؤدى إلى نقص التصلد) . ويتصلد الأسمنت بصفة عامة بعد إضافة الماء إليه إذ يحدث تفاعل يؤدى إلى خلق مادة جديدة متصلدة ويكتسب الأسمنت ٧٠٪ من قوته بعد أربعة أسابيع من خلطه بالماء وتزداد قوته إلى ٩٠٪ بعد نحو عام .

وفيما يلى مراحل تكون العناصر الجديدة المتولدة بعد تفاعل الأسمنت بالماء :

١ - ثالث ألومنيات الكالسيوم ($3CaO,AI_2O_3$) ويتكون بعد ٢٤ ساعة بعد إضافة الماء .

٢ - رابع ألـومنيات الكـالسيوم الحديـدي($4CaO,Al_2O_3,Fe_2O_3$) ويتكـون بعـد ١٤ ساعة أيضًا من إضافة الماء .

٣ - ثالث سليكـات الكالسيوم ($3CaO,SiO_2$) ويتكون بعـد أسبوع أوأكثر قليـلاً وهو المسئول عن اكتساب الأسمنت قوته فى المراحل الأولى للتصلد .

٤ - ثانى سليكـات الكالسيوم ($2CaO,SiO_2$) ويتكون ببطء إلا أنه المسئـول عن زيادة قوة الأسمنت بطول المدة .

إنتاج الأسمنت المعتاد :

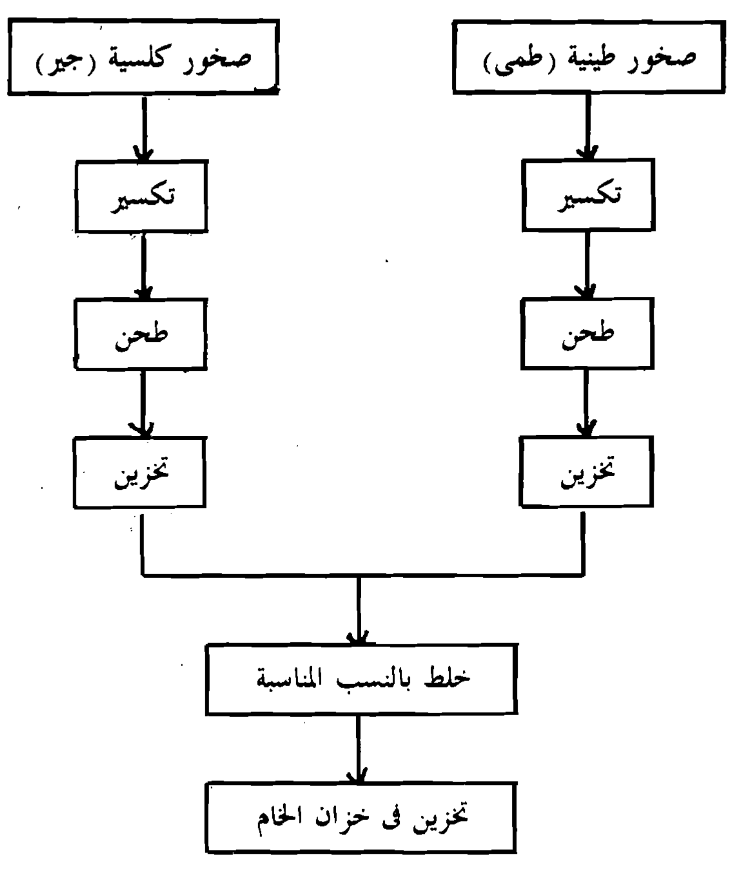
ويتم فى ثلاث مراحل رئيسية وهي:

١ - خلط المواد الخام.　　٢ - حرقها .　　٣ - سحقها .

وتخلط المواد الخام (الجير والطين) إمـا على الجاف أو بالأسلوب الـرطب . وفى الطـريقة الجافة تكسر المواد الخام إلى كتل بقطر نحو ٢٥ سم وتجفف بمرور الهواد الجاف ثم يتم السحق إلى مسحوق فى طـواحين تدور وبـداخلها كـرات من الصلب (للسحق) ويتم ذلك بـالنسبة للمواد الخام كل نوع على حدة ثم يتم الخلط بالنسب الصحيحـة المطلوبة استعدادًا لشحنها فى قمائن الحرق الـدوارة Rotary Kilns وتستخدم طـريقة الخلط الجاف هذه عندمـا تكون المواد الخام صلدة إلى أن هذه تعتبر طريقة بطيئة مكلفة . أمـا الطريقة الرطبة أو المبللة فى الخلط فهى تتلخص فى طحن الجير وتخزينـه فى خـزانـات أو صوامع . وتخلـط الصخور الطينيـة بـا لماء فى خـزانات خـاصة ثم تخزن فى أحـواض بعد تمام عمليـة الغسيل با لماء ثم يخلط الجير المطحـون والمخزون فى صوامع مع الصخـور الطينية المبللة با لماء فى قناة خلط بـالنسب المطلوبة ويطحن حتى يصبح فى صورة عجينة أو طينة رخـوة ثم يستمر السحق ثم يقلب العجين ويضبط قوامه فى حوض خاص ثم يخزن فى خزان .

ويوضح شكل (١-٣٢، ٣٣) تسلسل عمليات الخلط لجاف والرطب ثم ما يلى ذلك من عمليات حرق وسحق .

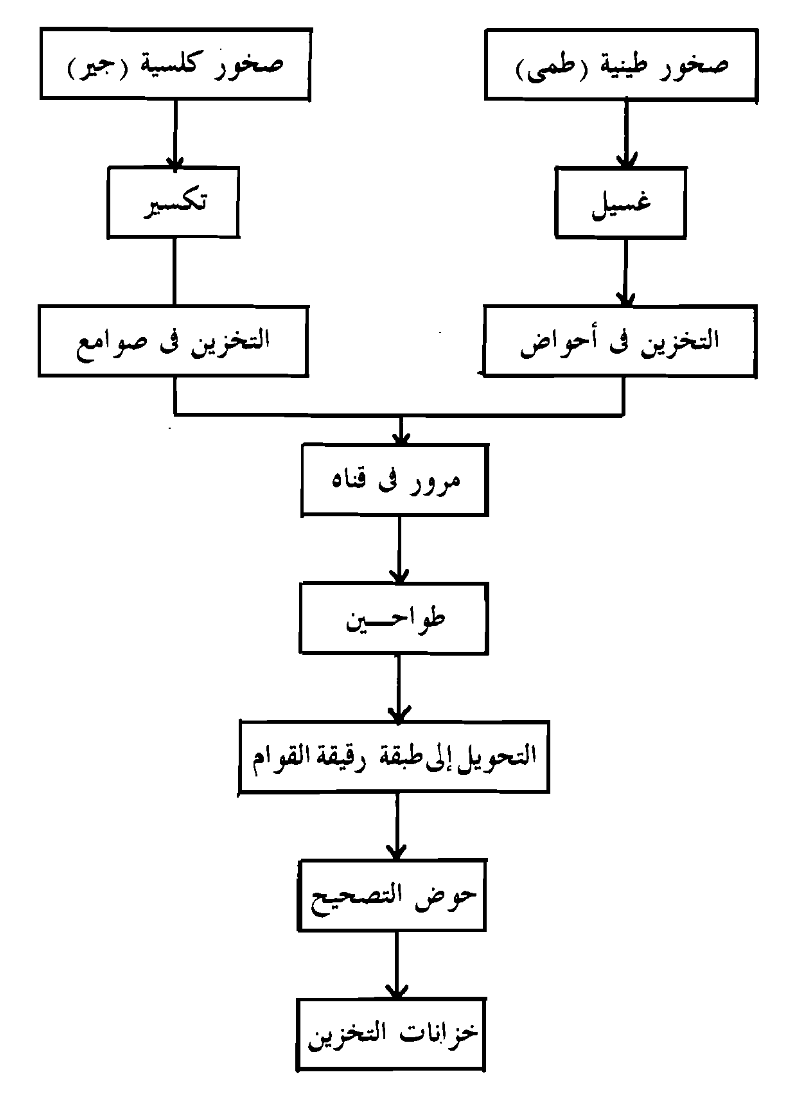
ويتم الحرق فى المرحلـة الثانيـة بالنسبـة للخلائط فى قمائن اسطـوانية دوارة (بقطـر يبلغ ٢٥٠ إلى ٣٠٠ سم) وبطول يصل إلى نحو ١٢٠ متر ويميل محور دورانها على المستوى الأفقى بنسبة ١ : ٣٠ وتدور بسرعة بطيئة تبلغ دورة فى الدقيقة « شكل ١ - ٣٤ » وتشحن القمائن من القمة المرتفعـة بالخليط (المخـزن) وتتعرض الشحنـة داخل القمائن لغازات سـاخنة (أو لهب



شكل ١-٣٢ الطريقة الجافة لخلط خامات الأسمنت

اشتعال) فيتبخر الماء من الشحنة (التى خلطت بالطريقة الرطبة) فى الجزء الأعلى من القمينة (تسمى هذه المنطقة منطقة التجفيف) ثم يتصاعد بعد ذلك غاز ثانى أكسيد الكربون (تتكون فى هذه لمنطقة تجمعات متكورة من الشحنة) ثم تصل الشحنة المتكورة إلى منطقة الاحتراق حيث ترتفع درجة الحرارة إلى نحو ٩٥٠°م وفى هذه المنطقة تتحمص الشحنة بمكوناتها وتتحول الكرات المتكونة سابقًا إلى أحجار دقيقة صلدة وتسمى نواتج الاحتراق Clinkers (قطرها بين ٣ ، ١٠ مم) حيث تبرد فى قمينة تبريد ملحقة بالقمينة الأولى الخاصة بالاحتراق .

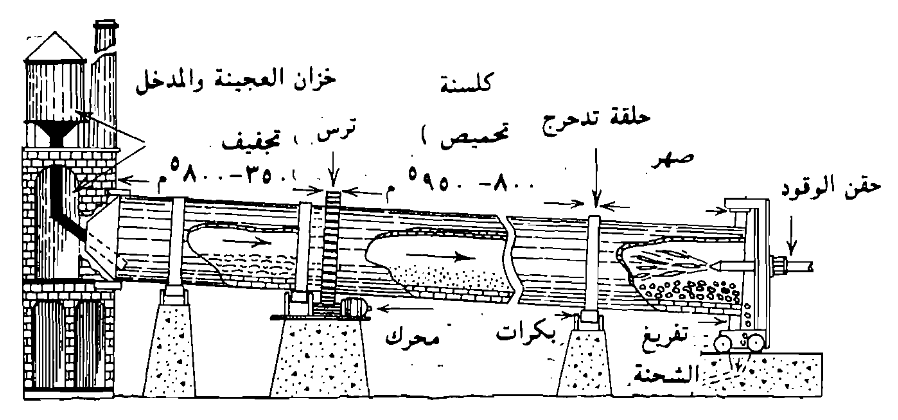
ويتم الطحن فى المرحلة الثالثة والأخيرة فى طواحين (تستخدم كرات الصلب للسحق) وفى أثناء السحق يضاف ٣ إلى ٤٪ جبس (يساعد على التحكم فى سرعة التصلد الأولى بعد خلط الأسمنت بالماء فلا يجعله يتصلد مباشرة بل يؤخر عملية التصلد حتى ينتهى التشكيل بالشكل المطلوب) ثم يعبأ فى أكياس عازلة للرطوبة حتى لا يتلف الأسمنت .



شكل ١-٣٣ الطريقة الرطبة لخلط خامات الأسمنت

ويستخدم الأسمنت فى بنـاء المنشآت وفى عمليات البيـاض للحوائط وعمل مـونة ربط الطوب بعد خلطه بالرمل ثم عمل الخرسانة بخلط الأسمنت بالرمل والزلط لتكوين كتل ذات صلادة عالية وتحمل للضغوط المرتفعة لكنها ضعيفة فى مقاومتها للشد ولإكسابها مقاومة للشد تسلح بأسياخ من الحديد الصلب (الطري) فيما يعرف بالخرسانة المساحة .

ويمكن أن يصنع من الأسمنت وخلائطـه بالرمل والـزلط والحديد العديـد من المنشآت



شكل ١-٣٤ قمينة دوارة لحرق خليط الأسمنت المبلل

مثل الجسورBridges والخزانات Dams والأنفاق Tunnels وصوامع التخزين والأرصفة وخزانات المياه والآبار وصوارى الإنارة فى الشوارع ووصلات أنابيب الصرف الصحى وفرش وقواعد المكنات الثقيلة وهياكل المساكن والمبانى العامة ويمكن خلطه بالمواد العازلة بالحرارة لعمل الأسقف العازلة للحرارة لأسقف المصانع والمحطات (بالألواح المتعرجة) وكذلك الطوب الرملى والطوب المفرغ لكسوة الأعمدة المشكلة من كمرات الصلب . وهناك أنواع أخرى من الأسمنت يكفى سرد أسمائها إذ لا يتسع المجال لدراستها بالتفصيل وهى :

١ - الأسمنت الحديدى المصنوع من خبث الفرن العالى .

٢ - أسمنت ملون كالأسمنت الأبيض وغيره .

٣ - أسمنت قابل للاستطالة (مضاف إليه سلفو ألومنيات Suplho-aluminate) إذ يتمدد بعد إضافة الماء إليه (بينما ينكمش الأسمنت المعتاد) .

٤ - أسمنت مرتفع فى نسبة الألومينا مقاوم نسبيًا لفعل درجات الحرارة وامتداد زمن التصلب بعد إضافة الماء ولا يتأثر بالصقيع إذ أنه يولد حرارة بتفاعله مع الماء ويقاوم فعل الأحماض .

٥- أسمنت بوزولانا Pozzuolana لايسرب الماء ويتحمل الضغط والشد نسبيًا . ويستعمل في صناعة خزانات المياه وحمامات السباحة وغيرها .

٦- أسمنت سريع التصلب بنقص إضافة كبريتات الألومنيوم .

٧- أسمنت أبيض وهو أسمنت عادى لكنه خال من أكسيد الحديد .

-٩-٣-٢- الزجاج Glass :

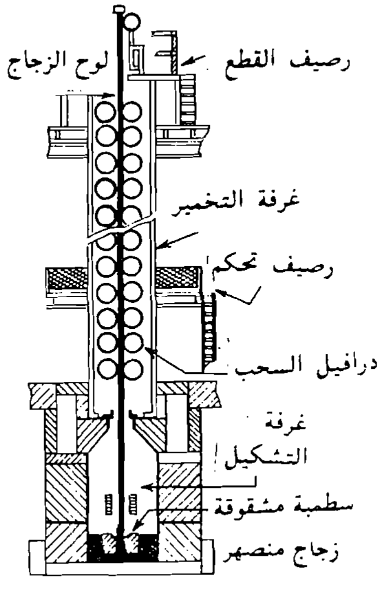
يتركب الزجاج أساسًا من سليكات مزدوجة للصوديوم والكالسيوم :

$$(Na_2O, CaO, 6SiO_2)$$

وينتج الزجاج بصهر الرمل (السليكا) مع مادة قاعدية (الصودا والجير) وكميات قليلة من الفلورسبار كمساعد صهر (فلوريد الكالسيوم CaF_2) وثانى أكسيد المنجنيز لإزالة اللون وبعض أكاسيد المعادن للتلوين (أكسيد الكوبلت يعطى لونًا أزرقًا خفيفًا وأكسيد النيكل للون الأخضر الخفيف والذهب للون العقيق) وقد يضاف تراب العظام ليجعل الزجاج معتمًا . ولايذوب الزجاج فى الماء أو الأحماض فقط يذوب فى حامض الهيدروفلوريك Hydrofluoric Acid فلا يوضع هذا الحامض فى أوانى زجاجية بل قوارير من اللدائن . ويغبش سطح الزجاج وتنعدم شفافيته بإضافة فلوريد الصوديوم .

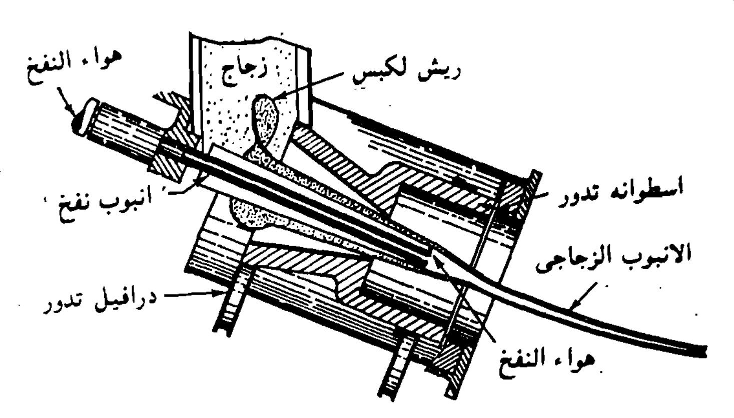
إنتاج الزجاج : يستخدم فرن يشبه فرن سيمنز مارتن المخصص لصناعة الصلب (شكل ١-٩) لصهر المواد الأولية المكونة للزجاج مع كسر زجاج قديم حيث تصل الحرارة إلى نحو ١٦٠٠م . وتؤخذ كتل من الزجاج المنصهر (قوامه ثقيل) على شكل عجينة تشكل بالصب فى قوالب أو تنفخ فى قوالب لصناعة القوارير وزجاج المصابيح وكل الأجسام المفرغة أو تشكل بالسحب أو بالكبس إلى الأشكال المطلوبة وقد تدرفل عجينة الزجاج إلى ألواح وذلك بين درافيل مستوية أو قد يصب الزجاج المنصهر فوق سطح مستو من الزهر أو فوق أحواض من الرصاص المنصهر للحصول على ألواح مستوية غيرمموجة تصلح بصفة خاصة لصناعة المرايا ، أما إنتاج الزجاج المسطح التجارى العادى فيتم بواسطة الدرفلة فى مجموعة من الدرافيل الرأسية (شكل ١-٣٥) أما الأنابيب الزجاجية التى يستفاد بها فى المعامل أو فى صناعة الأمبولات الطبية فتصنع بطريقة مزدوجة من البثق فى أسطمبة اسطوانية ينفخ فى مركزها هواء لتكوين التجويف (شكل١-٣٦) كما تستخدم طريقة النفخ لصناعة القوارير بطريقة آلية فى مكنات خاصة بذلك (شكل١-٣٧) أو قد ينفخ المنصهرأثناء صبه فيتحول إلى ألياف زجاجية وقد تصنع هذه الألياف الزجاجية بدوران أقراص مثقبة بسرعة فتخرج ألياف زجاجية رفيعة بالقوة الطاردة المركزية مثل صناعة حلوى الصوف السكرى (غزل البنات) .

أنواع الزجاج : تصنع أنوع الزجاج المعتادةالمستخدمة فى صناعة الأوعية الزجاجية والقوارير وزجاج النوافذ من السليكا والجير ومركب قلوى . وهو زجاج سهل الإنصهار



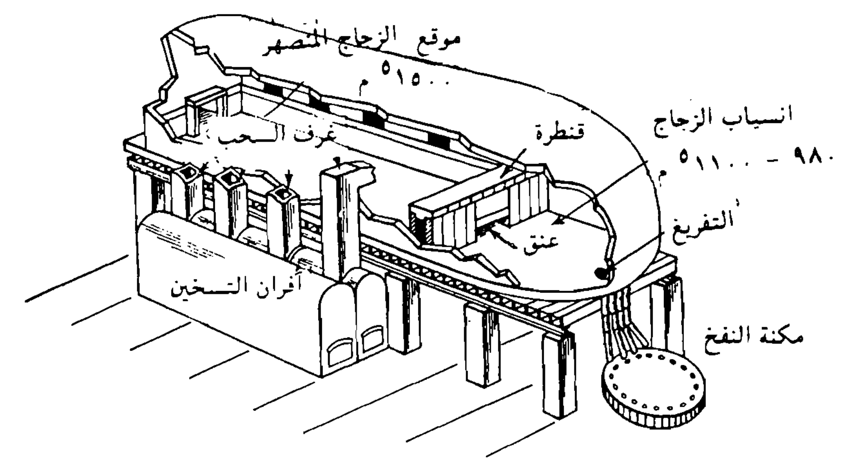
شكل ١-٣٥ درفلة ألواح الزجاج

أماأنـواع الزجـاج التى تصنع من جير البوتـاسا فهـو صعب الانصهار إلا أنـه يتحمل ارتفاع درجة الحرارة فتصنع منـه المصابيح والمعـوجات وهناك زجـاج سليكات الرصـاص والبوتـاسا ويسمى زجاج الصـوان أو الزجاج البلورى إذ يتحمـل الإجهادات ومعامل إنكسار الضـوء به كبير وتصنع منه العدسات والأحجار الكريمة الصناعية وأدوات المائدة .



شكل ١-٣٦صناعة أنابيب الزجاج بالبثق مع النفخ من داخل اسطمبة

ويوجد بجـانب ذلك أنواع الزجاج التى تتحمل ارتفـاع درجة الحرارة والتى تستخدم فى صناعة الأوانى الزجاجية بـالتسخين والمعروفة باسم بايركس Pyrex أو يينا Jena وهو يتركب



شكل ١-٣٧

من مركبات الرصاص والبورن وأكسيد الألومنيوم ، ويتصف هذا الزجاج بمعامل تمدد وانكماش منخفضين وبالتالى تقل الإجهادات الناشئة عن تسخينه فلا يتعرض للكسر وكذلك يتميز بنقص القصافة (بسبب أكسيد الألومنيوم) ويمكن تلوين هذا الزجاج أو إعتامه بإضافة أكسيد القصدير أو رماد العظام . ومن أنواع الزجاج المعروفة أيضًا الزجاج المؤمن Safety Glass المستخدمة فى السيارات والطائرات والتى لاتتطاير شظاياها الحادة عند الكسر وتسبب حوادث قاتلة ويصنع هذا الزجاج بأسلوبين :

الأول : وهو الزجاج الطبقى أو الرقائقى Triplex إذ تصنع من ألواح الزجاج الجيد تلصق بعضها ببعض (واحد فوق الآخر) وبينهما لوح رقيق من اللدائن الشفافة ويتم اللصق بمادة جلاتينية بالضغط والتسخين لإحكام اللصق وتجرى عليه بعد ذلك عملية تخمير حرارية Annealing أى تلدينها بالحرارة . وحين تعرض هذه الألواح للكسر بالصدم مثلا فإن شظاياها لا تتطاير بل تظل ملتصقة مع طبقة اللدائن الوسطية وهذه الألواح يجب إحكام أو حبك حوافها حتى لاتتسرب الرطوبة بين الألواح ويتم الإحكام باللدائن اللاصقة .

الثانى : وهو المعروف باسم سيكوريت ويصنع من البلور الجيد المعالج حراريًا بطريقة خاصة فيشكل اللوح الزجاجى بالشكل المطلوب والأبعاد المطلوبة على قوالب التشكيل ثم يسخن اللوح وهو مسند على قالبه إلى درجة التلين نحو ٧٠٠-٧٥٠م ثم يبرد بطريقة تحتاج إلى دقة وعناية تامة بأن يبرد سطحا وجهى اللوح حتى يتقلصا دون الطبقات الداخلية التى لاتزال متمددة فتحاول الطبقات الخارجية الانكماش ضاغطة معها الطبقة الوسطى (الداخلية) ثم ما تلبث الطبقات الداخلية هذه أن تتقلص بدورها عندما تبرد فتسبب ضغطًا فى الطبقات

الخارجية بينما تقع هى تحت إجهادات شد وهـذه الإجهادات يجب التحكم فيها بحيث لاتصل فى مقاديرها إلى حـد كسر الزجاج بل تبقى فى صورة إجهادات دائمة فى الزجـاج وقريبة من حد إنهياره أو كسره وعنـدما يتعرض الزجـاج للكسر بالصدم أو الخدش فإن الإجهادات الـداخلية فيه تفتته كله مرة واحدة إلى مكعبات صغيرة جدًا كتلتها صغيرة وحدودها ليست حادة وبالتالى يتلاشى خطرها عند تطـايرها وهو مانشاهده فى حوادث السيـارات ولو أنها أقل أمانًا من النوع السابـق المعروف باسم تـربلكس Triplex لـذلك فإن استعمالـه يقتصر على الألواح الخلفيـة والجانبية .

١-١٠- الكربون Carbon :

يستخدم الكربون فى صورة مسحـوق يضاف إلى المطاط الصناعى لإكسابه مقاومة عالية لنقل الأشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس ويستعمل فى صناعة خراطيم الرى المعرضة للجو ويسمى مسحوق الكربـون باسود الكربون Carbon black . كما يستخدم الكـربون فى صورة متبلـورة وهى الجرافيت كمزلق خـاصة فى درجـات الحرارة المرتفعة ، وكـذلك يستخدم الجرافيت بعد كبسه وتلبيده فى صناعة الأقطاب الكهربائية فى أفران الصهر بالقوس الكهربائى وغيرها . كما يستخـدم كعنصر تسخين فى الأفران الكهربـائية فى درجـات الحرارة المرتفعة حتى ٢٣٠٠م مع استخدام غاز خامل حتى لايحترق وتكـون هذه الأقطاب على هيئة قماش جرافيتى يسمح شكلهـا بالتمـدد والإنكماش دون أن تنكسر ويمر فيهـا التيار الكهـربائى ويتحـول إلى حـرارة بـا لمقاومـة الكهربـائية وأليـاف الـجرافيت يستفـاد بها فى تدعيـم اللدائن فى مـؤلفات Composites منهـا لما لهذة الأليـاف مـن مقـاومـة جيـدة لإجهـادات الشـد تصل إلى ٥ , ٣ نيوتن/ مم٢ .

١-١١- المؤلفات Composites :

إنه يمكن تغيير خواص المعادن من خـلال عمل سبائك بين عنصرين أو أكثر إذا أمكن الترابط بين أيـوناتها (نظـريـة السبـائك) ولكنه فى كثير من الأحيـان لايتم ذلك بين المعـادن بعضهـا مع البعض الاخـر وكـذلك بينهـا وبين المواد غير المعدنيـة أو بين المواد غير المعـدنيـة بعضهـا ببعض حينئذ يلجأ المهنـدسون إلى تصنيع مـؤلفـات بين مادتين أو أكثـر إحدهـا تمثل الأرضية الأساسيـة للمؤلف Matrix والبـاقى فى صـورة أليـاف أو مسـاحيق (شكل ١-٣٨) وبذلك تكتسب المادة الأصلية (الأرضية) خواص إضـافية من خواص الألياف أو المسحوق لم تكن تحوز عليها مثل كون الأرضية قصيفة لاتتحمل الثنى أو الشد أو كـونها لدنة بدرجة مفرطة ويراد إكسابها جساءة عالية .

الأرضية	المدعمات	المؤلف الناتج
لدائن (بوليمرات) (لدن)	ألياف الزجاجية (قوية - قصيفة)	مؤلفات من البوليمرات المدعمة بالألياف الزجاجية
معدن (لدن - متين)	مسحوق معدنى شديد الصلادة (صلد - قصيف)	مادة صلدة (صلدة - متينة)

شكل ١-٣٨ مكونات المؤلفات

وقد ابتدع قدماء المصريين المؤلفات فى الصورة التى مازلنا نشاهدها حتى اليوم فى بناء المنازل فى الريف من الطوب اللبن (غير المحروق) والذى يصنع من الطين المخلوط بالقش كمادة مدعمة ولعل هذا كان تقليدًا لبناء الإنسان ذاته (من هيكل عظمى وحوله اللحم والعضلات والأوردة والشرايين والأعصاب) وكذلك كافة المخلوقات من حيوان ونبات فى الشجر وأوراقه وقد تطورت صناعة المؤلفات منذ عصور قديمة فى المنشآت المدنية كالخرسانة المسلحة (الأسمنت + الرمل + الزلط + حديد التسليح) ثم غزت المكونات الصغيرة فى التصميمات المختلفة .

وتتكون المؤلفات من مادة أساسية Matrix ومادة مدعمة تكون فى إحدى الصور التالية شكل (١-٣٩) :

- ألياف أو أسلاك
- أجزاء مكسورة (مجروش)
- طبقات متراصة

وهذه المادة المدعمة تؤدى إلى زيادة مقاومة الإجهادات للجزء ككل وتزيد جساءته ومعامل مرونته وصلادته وربما فى أحيان كثيرة زيادة قابلية التوصيل الكهربائى والحرارى أو مقاومة فعل درجات الحرارة المرتفعة أو مقاومة البرى فى الأسطح المحتكة .

وفى توجيه التدعيم بالألياف أو الأسلاك قد تُوجَّه هذه بحيث تعطى خواص متميزة فى اتجاه معين شكل (١-٤٠) أو تعطى اتجاهات مختلفة شكل (١-٤١) وفيما يلى بعض أهم أنواع المؤلفات المستخدمة حديثًا فى الصناعة .

١-١١-١- اللدائن المدعمة بالألياف الزجاجية :

وهى مؤلفات أساسهـا اللدائن غالبًا ماتكون المواد البوليسترية أو الـراتنجات الأبوكسية Polyester or Epoxi Resin كأرضية رخوة سـائلة تدعم بنسيج من الألياف الـزجاجية ثم تصلد الأرضية بالتسخين . وتصنع منها عديد من الأدوات الرياضية (مضارب التنس) أجسام السيـارات بأنواعهـا والطائرات - وأجـزاء المكنـات كالتروس والعـدد - اليايـات الورقيـة فى سيارات النقـل - وخطوط أنابيب نقـل المياه والصرف الصحى الكبيرة والمدفـونة تحت الأرض والخزانات والقـوارب وعادة ماتـدعم الأنواع الأخيرة بمادة حشو إضـافية وهى الـرمل بجانب الألياف الزجاجية .

١-١١-٢- العدد الساحجة (أحجار التجليخ) :

أساس هـذه المؤلفات المادة السـاحجة مثـل الكورنـدم وكربيـد السليكون - أو مجروش الألماس ثم مادة رابطة تمثل الأرضية مثل اللدائن والخزفيات اللـدنة (مطاطية) أو المواد المعدنية (الكوبلت أو النيكل) .

١-١١-٣- الأطراف القاطعة الصلدة :

وهى المعروفـة باسم فيـديا (Widia) وهى كلمـة مـركبة من أصـل ألمانى معناهـا شبيـه الألماس Wie Diamant وهى أطراف صغيرة شديدة الصلادة وقصيفة لذلك تركب فى أطراف العدد القـاطعة لتتـولى القطع بسبب صلادتها دون تعرضهـا للحنى (حتى لاتنكسر) وتتركب من مساحيق الكربيدات مثل كربيد التنجستن أو السليكون أو خزفيات مثل أكسيد الألومنيوم أو كربيد التيتانيوم مع أكسيد الزركونيوم كرابط

١-١١-٤- المؤلفات الطبقية :

تكون المؤلفـات فى هذه الحالة على هيئة نسيج جسبـئ أو ورق صلد أو ألواح بولـوميرية (بلاستك) وتلصق طبقات بينها بواسطة مادة لاصقة وتضغط بعضها مع بعض وهى تشابه فى خواصها الخشب المضغوط (زائد الصلادة) .

١-١١-٥- مؤلفات الألواح المعدنية المكسوة :

تتكون أسـاسًا من ألـواح رخيصة من الصلب غير السبـائكى يكسى بكسـوة رقيقة بمادة مقـاومـة للتآكل أو الصـدأ أو مقـاومـة للأحماض القـويـة فتتـولى ألـواح الصلب (الصـاج)

الإجهـادات الميكانيكيـة بينما تتولى الكسـوة الـوقايـة من فعل الأجـواء المعتديـة مثل الأحماض وتستخدم أساسًا فى الصناعات الكيماوية وأدواتها .

١-١١-٥- الشرائط المعدنية المزدوجة :

هى عادة من شرائط من معدنين مختلفين فى معامـل تمددها يدرفل الشريطان بعضهما مع البعض أو يلحما على مدى طـولها . وعند تسخين هـذين الشريطين المزدوجين فى شريط واحد فإن هذا الشريط ينحنى لاختـلاف معامل التمـدد الحرارى لمكوناتـه ويزداد الانحناء بـارتفاع درجة الحرارة وتستخدم هـذه الأشرطة فى قياس درجات الحرارة وفى التحكـم فى درجات حرارة الأفران .

١-١٢- المزلقـات Lubricants :

المزلقـات هى مواد وسيطـة تستخدم لتقليل معـامل الاحتكاك بين الأسطح المحتكـة بل والفصل بينهـا ومن ثم إقلال معـدلات البرى بالإحتكـاك . وتشكل المادة المزلقة طبقـة عازلـة رقيقة تفصل بين الأسطح المحتكة وتمثل هـذه الطبقة الرقيقة العازلة فى حـد ذاتها عدة طبقات يتحرك بعضهـا فوق بعض (كطبقـات أوراق اللعب) ويكون هذا التحـرك بأسلوب التـدحرج والإنزلاق بين جـزئيات المادة المزلقة . ومن هـذه الطبقات تكون طبقات سطحيـة منها طبقتين ملتصقتين مع الأسطح المحتكـة وتتحـرك معها ثم تنـزلق طبقـات المادة المنـزلقـة أو تتدحـرج جزئياتها بعضها فوق البعض مسببة حركة نسبيـة بينها وبالتالى يقل معامل الاحتكاك وتتناقص ثخانـة طبقة التزليق بازديـاد الضغط الواقع عليها وهو الضغط العمـودى الواقع على الأسطح المحتكة ومن أهم الصفـات التى يجب أن تتصف بها المواد المزلقة عدم انبثاقهـا (هروبها) تحت تأثير الضغط أو خـروجها من بين الأسطح المحتكـة بأن تتصف بلزوجـة مقبولـة ويتم ذلك فى ظروف التشغيل الشاقة مثل ارتفاع الضغـط ودرجة الحرارة كما يجب أن لاتكون متلفة للأسطح المحتكة (بـالتفاعل معها مثـلا) كما يجب أن تتصف بسهولـة تخزينها دون تلفها وعـدم ضررها للإنسان باللمس أو الشم ثم أخيرًا رخص تكاليفها .

والمواد المزلقة يمكن أن تكون : جامدة أو لينة أو سائلة أو غازية .

المواد الجامدة : وأهمها الجرافيت ومسحوق التلك ومسحوق الميكـا وتستخدم أساسًا فى التزليق بين الأسطح التى تتعرض للضغوط العالية (مرتكزات الجسور وصوانى إدارتها وعربات الخطوط الحديدية والطواحين ومكنات الرصف) .

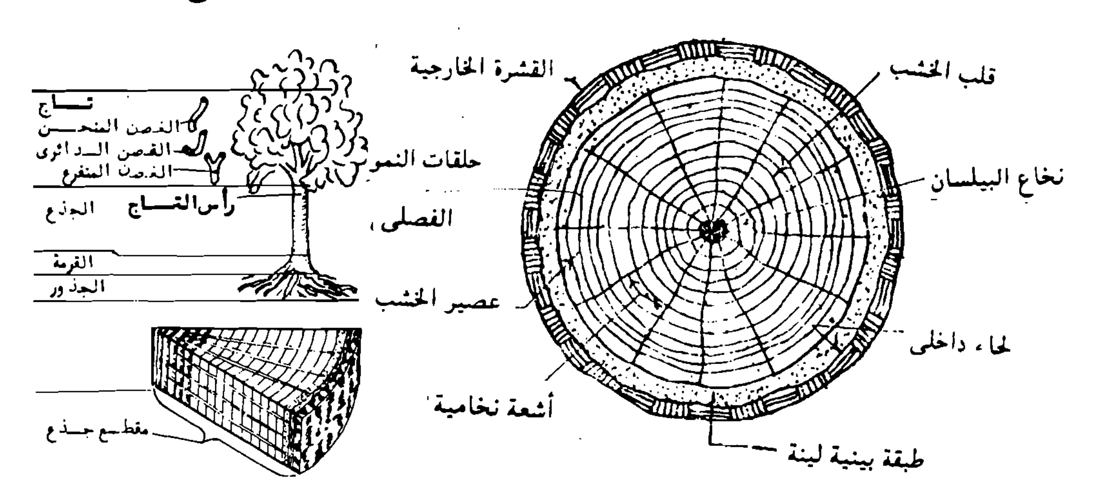
المواد اللينـة : وهى الشحـوم وأهمها شحـوم التـالو الحيـوانى Tallow وشحم الخنـزير (لاردLard) ويستخدم فى الأسطح التى تتعرض لضغوط متوسطة وحركة بطيئة .

المواد السائلة : وأهمها الـزيوت المعـدنية (نـادرًا ماتستعمل النبـاتية والحيـوانية) وهى الأكثـر شيوعًـا فى مواد التـزليق فى الضغـوط المعتادة والسرعـات المرتفعة . إذ تتميـز بتبريدهـا لـلأسطح المحتكـة بجـانب التـزليـق وهى تقـاوم ارتفـاع درجـة الحرارة حتى نحـو ٣٠٠م . واحتفاظها بخواصها فى ظروف التشغيل .

المواد الغازية : وأهمها الهواء المضغوط إذ يضغط بين الأسطح المحتكة لفصل بعضها عن البعض أى يعلق سطح من الأسطح فـوق طبقـة الهواء المضغـوط (كمحـاور الإدارة التى تبرد وتـزلق بـالهواء المضغـوط) ومن أهـم ميـزاتها تحمل درجات الحرارة المرتفعـة ووقـايـة الأسطح المحتكة وقاية تامة فلاتبلى .

١-١٣- الأخشاب Timber :

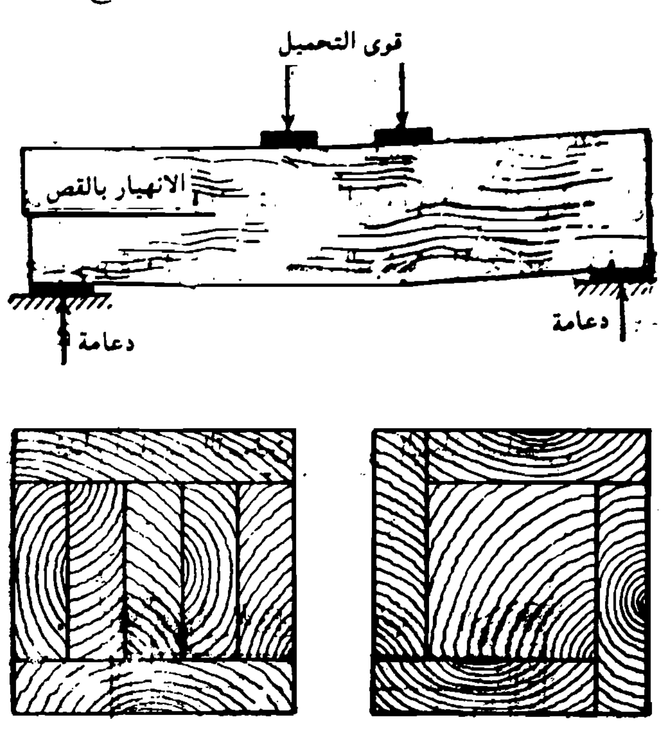
مصـادر الأخشاب الطبيعيـة هى الأشجار بأنـواعهـا المختلفة وتقطع الأشجـار عندمـا يكتمل نموهـا ويعطى مقطع الشجرة شكلاً حلقيًـا (حلقات متحددة المركـز) تمثل كل حلقة منها سنـة كاملـة من عمر الشجـرة والحلقات ذاتها يتضح فيهـا عند فحصهـا تباين (تـركيب طبقاتها على مدار الفصـول شكل (١-٣٨) وهذه الطبقات (الحلقات فى المقطـع) الاسطوانية



شكل (١-٣٨) مقطع شجرة

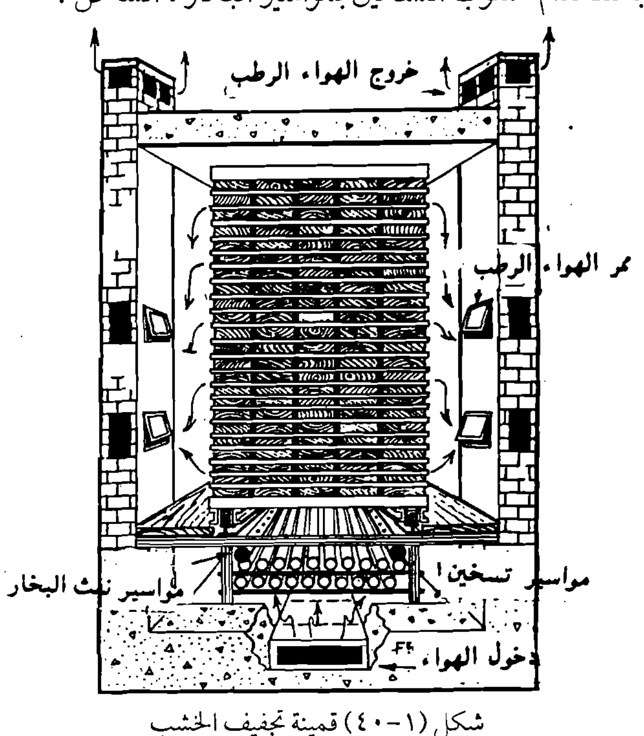
تكتسب الأخشاب خواصها الاتجاهية المتباينة فلاتتساوى فى الأخشاب مقاومة الشد فى جميع الاتجاهات فهى مرتفعة فى الإتجاه الطولى ومنخفضة فى الاتجاه العرضى أو القطرى شكل (١-٣٩) .

والخشب يتكون أساسًا من خلايا السليلوز Cellulose Cells المتحللة داخل خليط من العناصر العضوية (العصارة Lignum) مع قليل من العناصر غير القابلة للاحتراق (مواد غير معدنية) وهى التى تتخلف بعد الاحتراق فى صورة رماد Ashes والخشب يتمدد بامتصاصه للرطوبة (الماء) وينكمش بالتخلص منها أى عند جفافه (يلاحظ تمدد الأثاث الخشبى فى الشتاء الرطب وانكماشه فى الصيف الجاف) وهذا التمدد والانكماش لايتساوى بدوره فى كل الاتجاهات شأنه فى ذلك شأن الاجهادات فالتمدد ضئيل فى الاتجاه الطولى (١ , ٠٪ إلى ٥ , ٠٪) بينما يكون كبيرًا فى الاتجاه القطرى للحلقات (٥٪ إلى ١٠٪) لذلك يحدث تشوه ملحوظ فى الأخشاب إذا لم يراع ذلك فى عمليات القطع والتصنيع بعمل تكوينات فى الاتجاهات الثلاثة تعوض بعضها البعض (شكل ١-٣٩) . وعندقطع الأخشاب من الغابات



شكل (١-٣٩) تباين اتجاه الألياف فى الخشب

تنزع قشرتها لتيسير تخلصها من الرطوبة بتعريضها للهواء بعد صفها فى صفوف متقاطعة ليتخللها تيار الهواء الذى يقوم بتبخير العصير Sap الذى تحتويه حلقات وخلايا الخشب . وقد يستخدم الهواء الجاف الساخن للتعجيل بالتجفيف (عند درجة حرارة ٤٠م) وقد يسبق التجفيف إذابة للعصارة فى الماء ليسهل التخلص منها بتغطيس الخشب فى ماء جار خاصة وأن بقايا العصارة تتسبب فى تلف الخشب فيما بعد وتعفنه يوضح (شكل ١-٤٠) قمينة تجفيف الخشب باستخدام أسلوب التسخين بمواسير البخار ، الساخن .



شكل (١-٤٠) قمينة تجفيف الخشب

وأهم مظاهر تلف الخشب هى :

١ - نمو الفطريات فتتلف بنيته وتبليه .

٢ - التعفن : وهو التحلل الكيميائى بسبب التخزين فى جو غير جيد التهوية أو جو به تيار من الهواء الرطب والحار . ومن البديهى أن تكون الوقاية بالتخزين فى هواء متجدد جاف . وتعتيق الخشب بدرجة كافية للتخلص من عصارته ودهان سطحه لمنع نفاذ الرطوبة من الخارج إلى الداخل وامتصاص الخشب لها (الدهان بالبويات العازلة المحكمة) أو الدهان بالقطران ومحاليله لقتل الفطريات ومقاومة فعل الماء أو تشبيع الخشب بمواد تشريب Empregnating

كيماويـة (كلوريـد الزنك أو حـامض الفنيك أو الكبريت أو بمخلوطـات منها) أو بمعـالجة الخشب بمحلول ميتول اليوريا Methelol Urea التى تقى الخشب وتمنع تقلصه أو تمدده .

٣-٩-١-أنواع الخشب :

تسمى الأخشـاب بأسماءالأشجـار التى تقطع منهـا ويصعب حصرهـا كلهـا ومن هـذه الأشجار ماهو صلد ومـاهو طرى ومنها ماهو ثقيل وآخر خفيف هذا بجـانب الألوان المتباينة ويمكن التعرف على أنواع الأخشاب بمراقبة مقطعها وبنيتها (بالخبرة) وتتباين أنواع الأخشاب فى خواصها الميكانيكية كمقاومة للشـد والضغط والإنحناء والمرونة والمتانة وسهولة القطع وفيما يلى سرد لأهم الأنواع المتداولة والتى يكثر استخدامها فى المجالات الهندسية المختلفة .

١ - **العزيزى Pitch Pine** وتعرف أيضًا بـالأخشاب الصنوبرية (وهى عـديدة الأنواع) وهو خفيف الوزن قلبه مائل إلى الاحمرار ومتين يستخدم فى إنشاء المبانى والخزانات والصناديق لشحن المعدات الثقيلة .

٢- **الأبيض أو النـــرويجى Norway Spruce** (التنـوب)وهـوأرخص أنـواع الخشب وأسهلهـا فى التشغيل وتصنع منـه لبـاب صناعـة الـورق Pulp وتصنع منـه صنـاديق الشحن للبضائع الخفيفـة . ومن التنوب أنواع جيدة من الأشجـار التى تنمو على الجبال العـالية وهى أنواع تكون بيضاء أو قاتمة حمراء فى كثير من الأحيان .

٣- **البلوط Ash** : وهو من أهم أنـواع الخشب المتجانس فى أليـافه وهى قـوية ويمكن تشكيلها بـالحنى مع التسخين بـالبخار وتصنع منه لـذلك الأشياء التـى تتطلب المتانـة والقوة وجمال الشكل مثل أيادى الأدوات القاطعة والمجاديف ومضارب الكرة وتصنع منه قشور رقيقة تلصق على الأخشاب الرخيصة لتكسبها جمالاً ووقاية من تأثير العوامل الجوية .

٤ - **الزان Beech** وهو من أشهـر الأخشاب المعـروفة فى الصناعـة ولونـه أبيض مشوب بـالحمرة أو البنـى ويتعرف عليـه بخطـوط متقطعـة (شرط) قاتمة تميـز أليـافـه وهو قـوى متين يستخدم فى صناعة هياكل الموبيليات لتكسبها المتانة .

٥- **الماهـوجنى Mahogony** ويتصف بخفتـه نسبيًا وجمال مقطعـه وألوانـه الطبيعيـة وسهولة صقل سطحه ومن أهم ميزاته قلة إنكماشه أو تغير شكله أو تشوهه . وتصنع منه قشور رقيقة لكسوة الأخشاب الرخيصة .

٦- الجوز **Walnut** وهو من أهم الأخشاب المتينة القوية وتكاد تكون عديمة التشويه فيصنع منها الأثاث الفاخر والبنادق (الأيادى) وشكله جميل وخاصة إذا صقل إذ تظهر به حلقات النمو الشتوى بجانب لونه المميز .

٧- القرو **Oak** وأهم ميزاته كون أليافه محكمة لاتتشرب السوائل فتصنع منه براميل حفظ السوائل والمشروبات (لايتأثر طعم المشروبات به بالتخزين) ويصنع منه أيضًا الأثاث الفاخر وكذلك قشور تلصق على الأخشاب الرخيصة لتكسبها الجمال والوقاية من العوامل الجوية .

٨- الأبنوس **Ebony** وهو من الأخشاب نادرة الوجود لونه قاتم قريب إلى الأسود أو الأسمر (قد تنمو فيه عروق بيضاء) فيشبه بذلك الرخام .

٩- الصنوبر (الموسكى) **Pine** وهو من الأخشاب المعروفة بليونتها وسهولة تشغيلها (ولو أن بعض الأنواع تكون صلدة) وهو شائع الاستخدام فى الأشغال العامة فى المنشآت والصناديق الرخيصة والأرضيات .

١٠- الأرز **Cedar** وهو من الأخشاب الجيدة ذات الرائحة الطيبة المميزة يقاوم التلف بفعل الحشرات ومعظم أنواعه لينة (قليل منها صلد) ويصنع منه الأثاث الجيد .

١١- خشب الطبقات (الأبلكاج) **Plywood** وهو يصنع من قشور أخشاب من أنواع مختلفة من الأشجار تلصق بعضها فوق بعض كطبقات تتعارض فى اتجاه أليافها وحلقاتها فتكتسب خواص القوة والمتانة فى الاتجاهات المختلفة . وتصنع منها ألواح الصناديق للتعبئة وجوانب الأثاث وتنزع قشور طويلة وعريضة من الأشجار بالخرط بعرض الشجرة ثم تجفف وتصلق فى مكابس كبيرة (شكل١-٤١) .

الأنواع الأخرى الثانوية ومنها :

(أ) السرو Cypress وهو يشبه الأرز إلى حد كبير .

(ب) الكستنا أو أبو فروة Castanen or nut ويشبه القرو .

(جـ) الغرغار Elm يشبه القرو فى تحمله للماء .

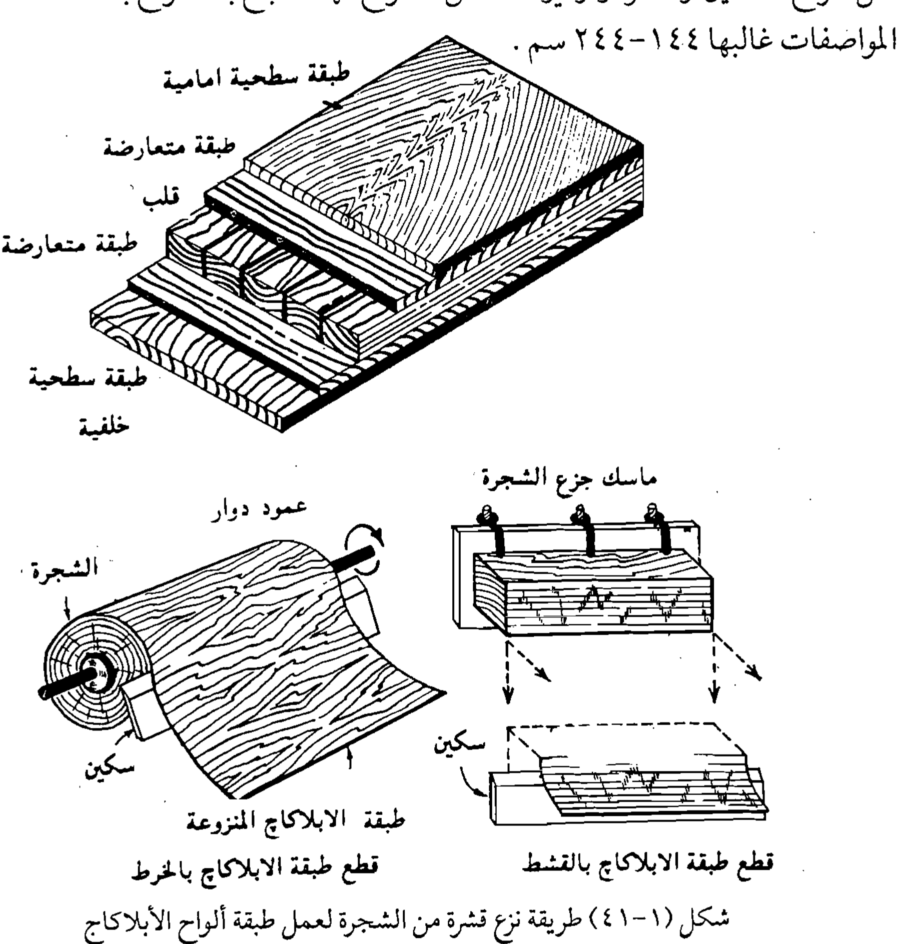
(د) التيك Teak ولونه أصفر قاتم أو بنى فاتح صلد ومتين ويصنع منه الأثاث الفاخر والأرضيات والإطارات وفى بناء القوارب الصغيرة .

وتقطع الأخشاب إلى مقاسات مختلفة (حسب الاصطلاحات المتداولة فى السوق) فمنها الألواح بأطوال تصل إلى ٤ متر وبعرض وثخانات مختلفة الأعمدة (العروق) ومنها أطوال ٤ متر وبمقاطع مربعة أو مستطيلة - العروق - البغدادلى - نصف مرينة - مرينة مفردة ومرينة مجوز .

الكمرات - وتباع بقطاعات مختلفة المقاسات وبأطوال تتراوح بين ٤ ، ١٠ متر .

الكتل (لاطة) وتستعمل كأعتاب أو سواند ولصنع الأبواب وبأطوال بين ٣ ، ١٣ مترًا .

والأخشاب تباع فى المعتاد بالحجم أى بالمتر المكعب أو القدم المكعب فيما عدا القشرة أو الأبلكاج الذى يباع باللوح وحسب السمك وعدد الطبقات الملتصقة . وكل الألواح المصنعة مثل ألواح الملامين والكونتر وغير ذلك من الألواح فهذه تباع بالألواح بمقاسات محددة فى المواصفات غالبها ١٤٤-٢٤٤ سم .



شكل (١-٤١) طريقة نزع قشرة من الشجرة لعمل طبقة ألواح الأبلاكاج

الباب الثاني

تحويل المواد الخام إلى منتجات نصف مصنعة

The Production of Semi-finished Products

(دكتور أحمد سالم الصباغ)

٢- مقــدمة :

يقصد بذلك تحويل المعادن وسبائكها بعد استخلاصها وتنقيتها إلى كتل مسبوكة Ingots أو ألواح بثخـانات وأبعـاد متباينـة أو قطاعـات مختلفة الشكل والأبعـاد كالأسيـاخ والقضبان والكمرات وتسمى هذه المنتجات نصف مضنعة لأنها فى غـالب الأحوال لاتصلح للإستخدام المبـاشر بل يحتاج الأمـر إلى تحويلهـا إلى منتجـات كاملـة التصنيع Finished Products أى منتجـات صالحة لـلإستخدام المبـاشر وعلى ذلك تمر المواد الغفلـة بثلاثـة مراحل رئيسيـة من مرحلة استخراجها من باطن الأرض حتى استخدامها المباشر وهى :

١ - الاستخـلاص من الغفل والتحـويل إلى معـادن نقيـة أو سبـائك فى صـورة كتل أو سبكات .

٢ - تحويل السبكات إلى منتجات نصف مصنعة شكل(٢-١) .

٣ - تحويل المنتجات نصف المصنعة إلى منتجات كاملة التصنيع .

ولما كنا بسبيل دراسة طرق تحويل المعادن وسبـائكها إلى منتجات نصف مصنعة يجدر بنا الإلمام بالمبادئ الأساسية لعمليات التشكيل والتى تنقسم فى الحقيقة إلى أسلوبين أولهما أسلوب تحويل الخام إلى منتجات نصف مصنعة على مرحلة واحدة بـالسباكة المستمرة وثانيهما أسلوب تحويل المعـادن إلى منتجـات نصف مصنعة على مـرحلتين الأولى بإنتـاج سبكـات ثم تشكيل السبكات على البارد أو على الساخن إلى المنتجات نصف المصنعة فى المرحلة الثانية .

أولاً - التحـويل عـلى مرحـلة واحـدة بالســباكة المستمرة : كمــا سبق إيضـاحه فى شكل (١-١٧) .

ثانيًا - التحويل على مرحلتين :

١ - التشكيل بتحويل المعدن إلى منصهر ثم صبه فى إناء أو قالب بالشكل المطلوب (السوائل تتبع فى شكلها شكل الإناء المحتوى لها) ثم تركها تتجمد وهو الأسلوب المعروف باسم الصب أو السباكة Casting . وهى المرحلة الأولى من التشكيل وتقتصر على تحويل المعدن إلى سبكات Ingots .

٢ - التشكيل على الساخن وعلى البارد وفيها تحول السبكات إلى كتل بأشكال هندسية منتظمة أو قطاعات كالقضبان والكمرات والأسياخ أو إلى ألواح بأبعاد مختلفة ويبدأ التشكيل على الساخن وعلى البارد بدلفنة (درفلة) السبكات وهى ساخنة فى حالة السبائك الصلدة أو على البارد للسبائك اللدنة . وتتم عملية الدلفنة على مراحل لإنتاج قطاعات مختلفة بأبعاد مختلفة . (شكل ٢-٩، ١٠، ١١) ولإدراك مبادئ عمليات التشكيل يجدر بنا الإلمام أولاً بالخواص الميكانيكية للمعادن والسبائك .

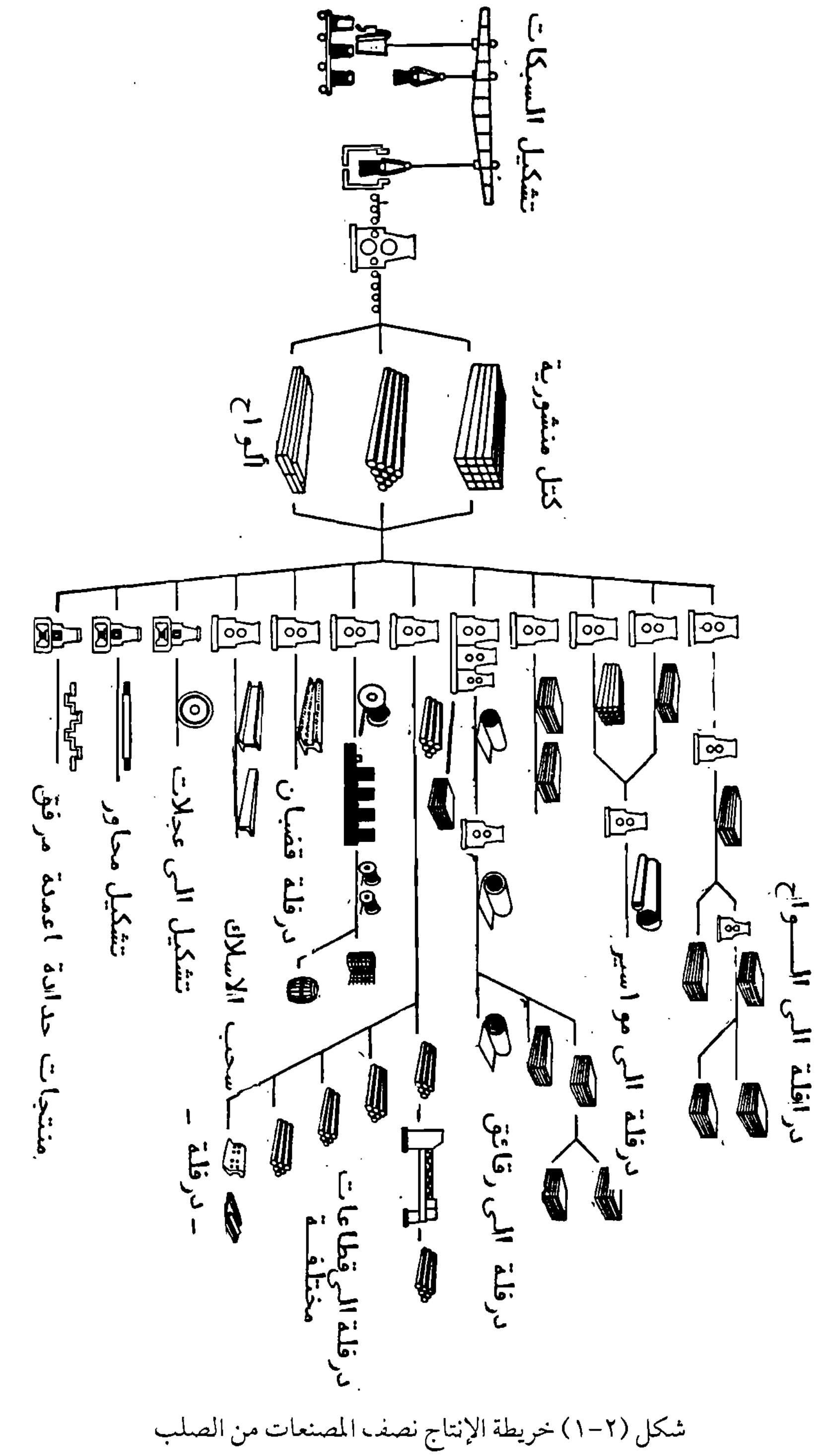
٢-١- الخواص الميكانيكية Mechanical Properties of Metals :

وهى تلك التغيرات أو المقاومة التى تبديها الفلزات بانفعالها بالإجهادات المؤثرة عليها سواء أثناء التشغيل أو التشكيل . وتعتبر الخواص الميكانيكية أهم الخواص الفيزيائية للفلزات نظرًا لأن هذه الخواص تعطى صورة تكاد تكون شاملة لصفات الفلز ومدى إمكانية تشكيله وتطبيقه فى الظروف الصناعية المختلفة .

٢-١-١- الجهد والإنفعال Stress & Strain :

إذا أخذنا على سبيل المثال ، عينة عبارة عن اسطوانة من المادة المطلوب اختبارها شكل (٢-٢) وحملنا هذه العينة بحمل شد أو حمل ضغط فى اتجاه محورها ، فإن الجهد Stress يعرف بأنه حمل الشد أو الضغط مقسومًا على مساحة المقطع الأصلى للعينة أو بمعنى آخر نصيب وحدة مساحة المقطع من الحمل المسلط .

$$\text{الجهد} = \frac{\text{الحمل بوحدة القوة (كيلوبوند أو نيوتن)}}{\text{مساحة المقطع (مليمتر مربع)}} = \text{Stress } \sigma$$



شكل (٢-١) خريطة الإنتاج نصف المصنعات من الصلب

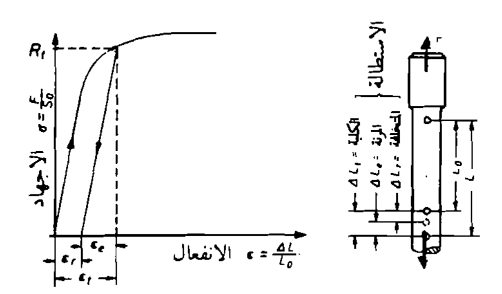
والجهد وحداته كيلو بوند/ مم٢ أو نيوتن/ مم٢ أو بسـكال (Pa) أو N/mm^2، أ Kp/mm^2 ونتيجة لتأثير الحمل تتغير أبعاد العينة وذلك يسمى تشكيل Deformation ووحدة القياس فى هذه الحالة تسمى انفعال Strain وتعرف بأنها التغير فى وحدة الأبعاد ، فمثلاً :

$$\text{الانفعال} = \frac{\text{التغير فى الطول} \times ١٠٠}{\text{الطول الأصلى}} = \frac{(\text{الطول النهائى} - \text{الطول الأصلى}) \times ١٠٠}{\text{الطول الأصلى}} = \varepsilon \text{ Strain}$$

فإذا كـانت العينـة تحت قوة شـد أى أنها محملـة بجهد الشـد فيكـون الانفعـال موجبًـا (استطالـة) ، أما إذا كـانت محملة بجهد الضغط فيكـون الانفعال سـالبًا (انكماش) ، ويجب التذكر دائمًا أن الانفعال هو نسبة مئوية وليست له وحدات .

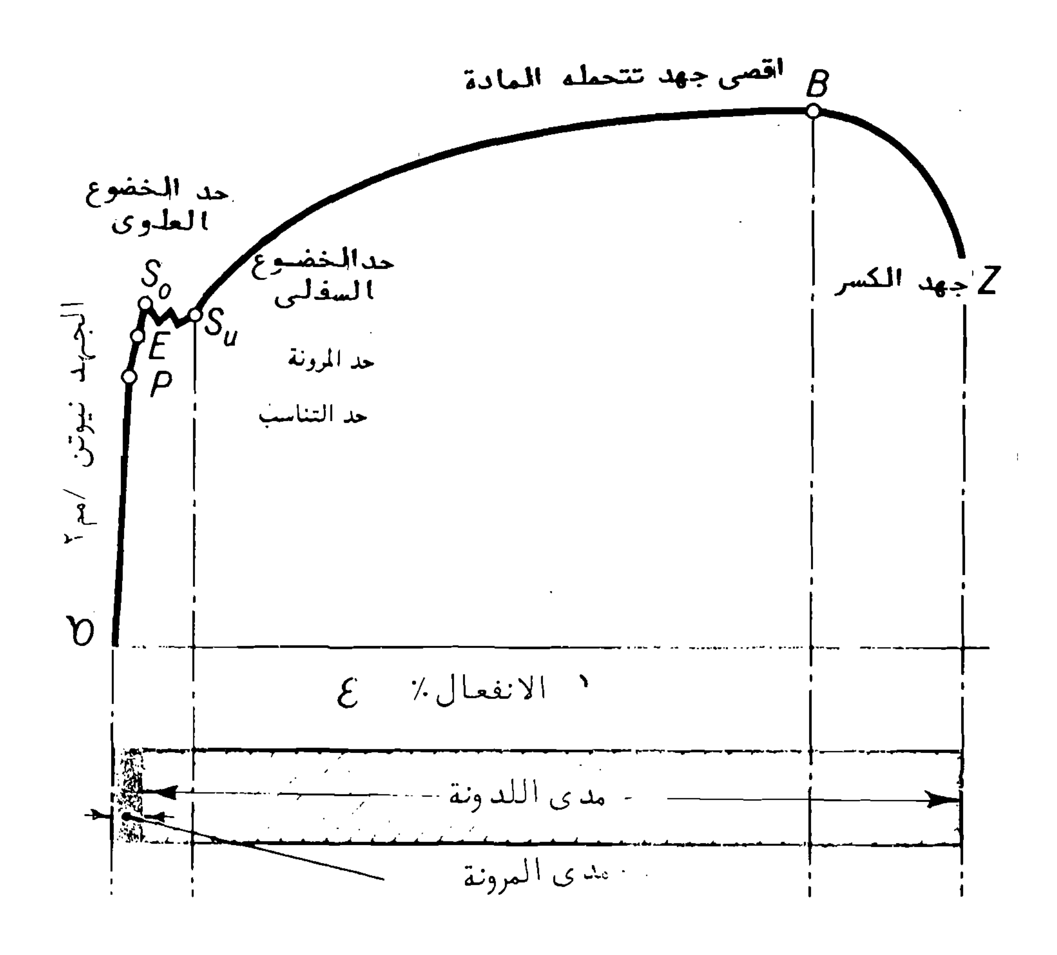
٢-١-٢- منحنى الجهد والانفعال Stress-Strain dirgram :

نحصل على منحنى الجهـد والانفعال لمادة مـا برسم الجهـد على المحور الـرأسى مقابـلاً للانفعال على المحور الأفقى (شكل ٢-٢، ٣ ، ٤) .

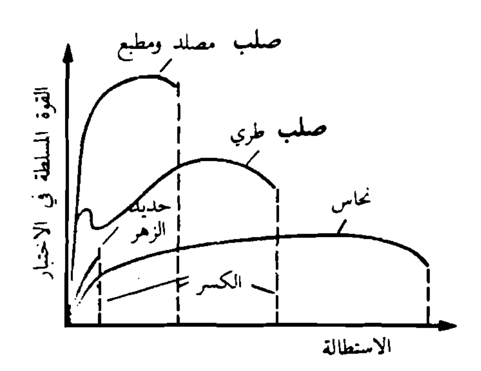


شكل (٢-٢) اختبار الشد لتعيين الخواص الميكانيكية للمواد

وعلى سبيل المثـال ، فمنحنى الجهـد والانفعال لمادة كـالصلب الطـرى يتكـون من خط مستقيم إلى نقطة (حد التناسب) Limit of Proportionality ثم ينحنى قليلاً إلى نقطة (حد المرونة Elastic Limit) . فإلى نقطة حد التنـاسب يتناسب الجهد مع الانفعـال وإلى نقطة حد المرونة يعود المعدن إلى أبعاده الأصلية بعـد إزالة الحمل ، ويعرف المجال من بداية التحميل إلى نقطة حد المرونة باسم (مدى المرونة Elastic Range) وبعد حد المرونة ينحنى الخط إلى (نقطة الخضوع Yield Point) مبينًا زيـادة سريعة نسبيًـا فى الإنفعال ، مع استمـرار هذه الـزيادة إلى مابعد نقطـة الخضوع بقليل . وبعد ذلك يبدو المعـدن وكأنه استعاد مقاومتـه ، وتقل الزيادة فى الإنفعال حتـى الوصول إلى نقطـة (أقصى قوة) أو أقصـى جهد Uitimate Strength وبعد



شكل (٢-٣٤) علاقة الجهد بالانفعال فى اختبار الشد وتعيين حدود المرونة واللدونة للمواد



شكل (٢-٤) منحنيات الجهد والانفعال (القوة والاستطالة) لمعادن مختلفة لمقارنة بعضها ببعض

هـذه النقطة يـزيد الإنفعـال مع زيـادة طفيفة فى الجهـد حتى تصل العينة إلى (نقطـة الكسر Fracture Point) والمجال من بعـد حد المرونـة إلى نقطة الكسر يعرف بـاسم (مدى اللـدونة Plastic Range) .

ولإمكـان عـرض الخواص الميكـانيكيـة يجدر بنـا أن نــوجـز أهم الخواص الميكـانيكيـة والاصطلاحات المتداولة و إيضاح معانيها :

١ - **حمل استاتيكى Static Load** وهو القـوة أو الحمل الذى يسلط على الفلز تـدريجيًا وببطء إلى حد معين ثم يثبت عند هذا الحد لدراسة أثره على الفلز .

٢ - **حمل ديناميكى Dynamic Load** وهو القـوة أو الحمل الذى يطبق على الفلـز إما بصورة فجائيـة (صدمة Sudden or Impact) أو متكـررة أو (دوريـة Repeated Cyclic) ويمكن فى هذا التحميل تغيير نوع ومقدار الحمل ومعدل تغييره بالنسبة للزمن Frequency .

٣ - **الجهد أو الاجهاد Stress** هو نصيب وحدة مساحـة مقطع عينة الفلز تحت الاختبار من الحمل المطبق عليه .

٤ - **الانفعال Strain** هو مقـدار التغيير النسبى فى شكل أو أبعاد الفلز نتيجة لـلإجهاد المطبق عليه .

٥ - **المرونـة Elasticity** يقـال للفلز أنـه مـرن عنـدما يشكل بـانتظـام عنـد تعرضـه للإجهادات وعودته إلى شكله الأصلى تمامًا بزوال الإجهادات (كالمطاط) .

٦ - **اللدونة Plasticity** وهى قابلية الفلـز للتشكيل بتأثير الإجهادات تشكلاً دائمًا دون عودته إلى شكله الأصلى بزوال تلك الإجهادات (العجائن ، الرصاص) .

٧ - **الصلادة Hardness** هى المقاومة للتغلغل والتخدش أو البلى أو الاختراق .

٨ - **الجمود أو الصلابة Solidity** هى خاصية تماسك المادة (عكس السيولة) .

٩ - **القصافة Brittleness** ومعناها الهشاشة أو قابليـة الكسر عند التعرض للإجهادات دون أن يسبق الكسر انفعال ما .

١٠ - **المتانة Toughness** عكس القصافـة وهى تحمل الصدمات ومقاومـة الإجهادات وهى صفة تجمع بين المرونة والعجونة والصلادة وتقاس بمقدا الطاقة المبذولة فى الكسر ويمكن

تقديرها كـذلك بالمساحة تحت منحنى الحمل والاستطالة حتـى الكسر لأن هذه المساحة تمثل الشغل المبذول حتى الكسر .

١١ - **الليونة أو الطراوة Softness** سهولة تغيير الشكل كالإنحناء والإلتواء وعدم مقاومة التغلغل (عكس الصلادة) .

١٢ - **الطروقية Malleability** هى المطاوعة للضغط أو الطرق أو العصر بالدرافيل .

١٣ - **المطيلية Ductility** هى استجابة المادة باستطالتهـا عند شدها عملية السحب إلى أسلاك .

١٤ - **قابلية الانسياب Flowability** وهى سريان الفلز بصورة متنـاسقة ولينة ومتعجنة وذلك تحت تأثير إجهادات الضغط (كانسياب المعجون من فوهة أنبوبة عند الضغط عليها) .

١٥ - **الجساءة والرساخة والكزازة Rigidity & Stiffness** هى مـقاومـة الفـلـز لحدوث انفعال أو التشكيل تحت تأثير الإجهادات .

١٦ - **الرجوعية Resilience** وهى كفاءة الفلـز لامتصاص طاقة الإجهـادات المبذولة فى حدود المرونة .

١٧ - **الكلال أو التعب Fatigue** وهو ظاهرة انهيار الفلز تحت تأثير الإجهادات المتكررة .

١٨ - **التحمل أو الصمــــود Endurance** وهى ظـاهـرة تحمل أو صمـود الفلـز أمـام الاجهادات المتكررة (عكس التعب) .

٢-٢- تغيير الخواص الميكانيكية والفيزيقية للمعادن :

نادرًا ماتـوفى المواد المعدنية بالخواص المطلوبـة فى التصميمات المختلفة فعلى سبيل المثال نجد أن الحديد يكون لدنًا لايتحمل الإجهادات المطلـوبة ولايقاوم البرى بالإحتكاك أو التآكل وكـذلك النحـاس رغم جـودة تـوصيلـه للكهـربـاء والحرارة إلا أنـه لـدن (طـرى) لايتحمل الإجهادات والبرى والتآكل وكذلك الحال مع الألـومنيوم وغيره لذلك تنشأ الحاجة إلى إكساب هـذه المعادن خـواص جديـدة مفتقـدة مثل تحويل اللدن (الطـرى) منهـا إلى صلد أو تلـدين الصلد منهـا أو بإكسـاب هذه المعادن مقـاومة للبرى أو التـآكل Corrosion بإضافـة عناصر

أخرى بالتسابك ويمتد ذلك التغيير إلى فقد الخواص المغنطيسية أو زيادة المقاومة لفصل درجات الحرارة وسوف نهتم بإيجاز شديد ببعض المعالجات الحرارية التى تؤدى إلى تغيير الخواص الميكانيكية لبعض المعادن والإشابات (السبائك) الهندسية .

٢-٢-١- المعالجات الحرارية للصلب Heat Treatments of Steel :

تجرى عدة معاملات حرارية على منتجات الصلب بقصد تغيير الخواص الميكانيكية وبعض الخواص الفيزيقية الأخرى .

٢-٢-١-١- التصليد (التقسية) Hardening :

عملية تجرى عادة على الصلب الذى يحتوى على نسبة متوسطة أو عالية من الكربون بين ٠,٣ ، ١,٢٪ كربون فيسخن الحديد لتحويله إلى حديد (γ) المسمى أو ستنايت (عند درجة حرارة تتراوح بين ٧٩٠ ، ٨٥٠° م) لفترة تتوقف على الجزء المطلوب تصليده (نصف ساعة لكل ٢٥مم) ثم يبرد فجأة فتتصلد بنية الصلب أى تزداد صلادة الصلب بقدر كبير وكذلك مقاومة الشد وغيرها من الخواص الميكانيكية وذلك على حساب اللدونة (أى يفقد بعض من لدونته) ويتوقف ازدياد الصلادة على نسبة الكربون ومعدلات التبريد ويترتب على التصليد إجهادات داخلية تتدرج عبر مساحة مقطع المشغولة إذ تبلغ الصلادة أقصى درجاتها على السطح بسبب سرعة التبريد وتقل تدريجيًا حتى المركز وقد تؤدى هذه الاجهادات إلى تشرخ الجزء المصلد إذا كان السمك كبيرًا وكذلك نسبة الكربون ومعدل التبريد لذلك تتبع هذه العملية عادة بمعاملة حرارية لاحقة لتقليل حدة هذه الإجهادات تسمى المراجعة (التطبيع) Tempering وذلك بإعادة تسخينها إلى درجة متوسطة من الحرارة (٢٢٠ ، ٣٧٠°م) ثم التبريد بعد ذلك بسرعة وتقتصر هذه الدورة الحرارية على أنواع الصلب الكربونى وكذلك البرونز الألومنيومى إلا أنه يمكن تصليد بعض السبائك الأخرى مثل سبائك الألومنيوم مع ٤,٥٪ نحاس المعروفة باسم الدورالومين والتى تصنع منها أجزاء الطائرات بتعريضها لدورات حرارية مختلفة يطلق عليها التصليد بالتعتيق Age Hardening وذلك بالتسخين إلى درجة حرارة ذوبان العنصر الذائب (فى حالة الدورالومين ٥٥٠°م)ثم التبريد فجأة فتتصلد السبيكة بعد فترة طويلة ذاتيًا (٣ أيام) وإذا أريد تعجيل تصليدها يحتفظ بها عند درجة حرارة نحو (١٥٠°م) لساعة ونصف وعلى هذا النمط يتم تصليد سبائك غير حديدية عديدة مثل برونز البريليوم وبعض أنواع النحاس الأصفر المركب .

ويمكن من ناحية أخرى قصر عملية التصليد على أسطح المشغولات فقط دون قلوبها لإكسابها مقاومة للبرى بالإحتكاك مع الإحتفاظ بقلب طرى يقاوم الكسر ويتم ذلك إما بالتسخين السريع لاسطح مشغولات الصلب مع تبريد سريع قبل أن يسخن القلب ويتأتى ذلك باستخدام لهب الأكسى استيلين أو التيارات الكهربائية الحثية وتسمى Surface Hardening كما يمكن تصليد أسطح مشغولات الصلب فقير الكربون بإثراء أسطحه فقط بالكربون (بالتسخين فى جو مكربن مثل الفحم النباتى) ثم تبريدها بسرعة أو بإثراء السطح بالنيتروجين بالتسخين فى جو نوشادر متحلل أو برش السطح وهو ساخن بمسحوق سيانور البوتاسيوم أو الصوديوم (سام جدًا) وتبريده بعد ذلك بسرعة وتسمى هذه العمليات التصليد بالتغليف Case Hardening الأولى بالكربنة والثانية بالنتردة والثالثة بالسيندة على الترتيب .

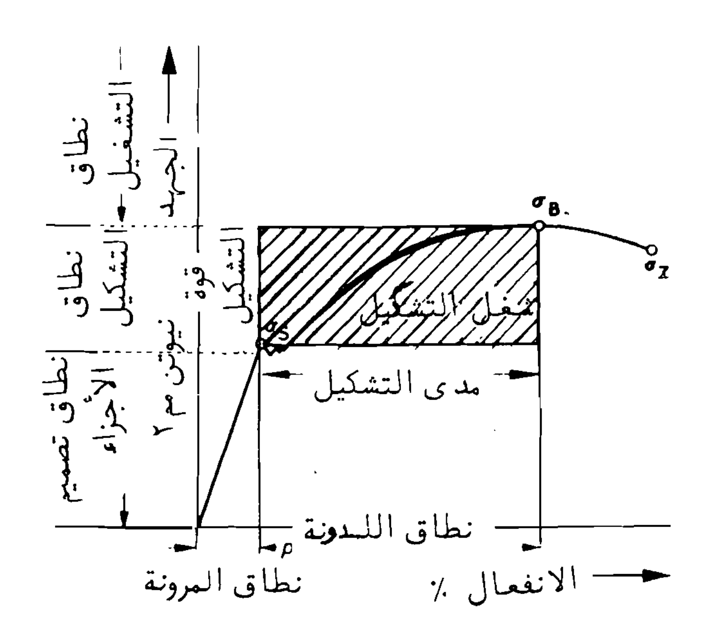
٢-٢-١-٢- التلدين (التخمير) Annealing :

وهى معاملة حرارية عكس السابقة إذ تهدف إلى تطرية المعدن أى بالتخلص من صلادته سواء كانت هذه الصلادة ناشئة من معاملة حرارية سابقة أو من تشكيل على البارد أو من جراء إجهادات حرارية متبقية فى المشغولات مثل المسبوكات . وتتم هذه المعالجة بتسخين الصلب فى الحالة الأولى إلى درجة حرارة التصليد السابق ذكرها بين (٧٩٠ ، ٨٥٠ م) والإحتفاظ بها نصف ساعة لكل ٢٥مم من سمك العينة ثم تبريدها ببطء شديد (تترك فى الفرن بعد قطع التيارعنه) أى عكس التصليد وذلك إذا كانت مصلدة حراريًا أما إذا كانت تصلدت من جراء تشكيل على البارد فيكفى التسخين لدرجة ٦٥٠ م ثم التبريد البطئ وكذلك الحال فى المسبوكات المتبقى بها إجهادات حرارية وهناك عملية مرادفة للتبريد تسمى المعادلة Normalising وهى تشبه التلدين تمامًا لكنها تختلف عنها فى معدل التبريد إذ تتم فى هذه الحالة فى الهواء العادى بدلاً من التبريد ببطء فى الفرن .

٢-٣- التشكيل اللدن (على الساخن وعلى البارد) :

Metal Forming (Hot & Cold Working) :

يقصد بالتشكيل اللدن هو تركيز الإجهادات على المواد المراد تشكيلها بحيث تتجاوز حدود المرونة إلى نطاق الإجهادات اللازمة بالتشكيل اللدن (شكل٢-٥) .



شكل (٢-٥) نطاق حدود تصميم الأجزاء ونطاق التشغيل والتشكيل على منحنى الجهد والانفعال للمادة

الباب الثالث

عمليات الإنتاج للمنتجات تامة التصنيع

Production of Final Products

(دكتور أحمد سالم الصباغ)

٣- مقـــدمة :

يمكن تقسيم عمليات الإنتاج لمشغولات تامة التصنيع إلى مجموعتين رئيسيتين :

١ - عمليات تشكيل .   ٢ - عمليات تشغيل .

١ - عمليات التشكيل Forming Processes :

تشمل تغيير شكل المادة دون نـزع أو قطع أجزاء منهـا مثل عمليـات الصب (السباكـة) والحدادة والكبس والـدلفنة والسحب والبثـق وعمليات اللحـام والتشكيل بـالضغط الرحـو والتشكيل بالتلبيد من المسحوق .

٢ - عمليات التشغيل Cutting and Machining :

وفيها يتم تغيير الشكل بقطع أجزاء من المادة فى صورة عـوادم أو رائش إما قطعًا يـدويًا با لمنشـار أو الأجنة أو المبرد أو المقص أو آليًا بـاستخدام الآلات كعمليـات الخراطة والثقب - والكشط والتفريز والتخليق - والتجليخ والصقل والتلميع وقص الألواح .

٣-١- عميات التشكيل بالصب (بالسباكة) Casting Processes :

ويقصد بها تحويل المعادن أو سبائكها إلى حالة سائلة بتسخينها حتى الانصهار ثم صبها فى فراغ قوالب بالشكل المطلوب وتركها تتجمد به وتأخذ شكل القوالب .

وتمر عمليات السباكة على هذا الأساس بأربع مراحل أساسية :

١ - تشكيل القالب Forming of the Mould .

٢ - صهر المعدن Melting .

٣ - الصب والتجميد Forming and Solidification .

٤ - إخراج المسبوك وتنظيفه واختباره Fettling & Inspection .

تشكيل قوالب الصب : يمكن تشكيل قوالب لتصب فيها المعادن مرة واحدة وتسمى قوالب مؤقتة ويمكن صناعة القوالب لتصب فيها المعادن لعدة مرات قد تصل إلى مليون مرة دون الحاجة إلى تغيير القالب .

القوالب المؤقتة : وتصنع عادة من الرمال التى تختار بخواص معينة لتوفى ببعض الأغراض المناسبة لعمليات السباكة وهى :

١ - سهولة تشكيلها .

٢ - قوة تماسكها واحتفاظها بشكلها .

٣ - احتفاظها بقوة تماسكها ومتانتها فى ظرف درجات الحرارة العالية وتحمل وزن المعدن الذى ستحتويه .

٤ - مسامية كافية تمكن من تصريفات الغازات التى تحتويها فلا تدخل داخل المعدن وتكون فقاقيع به (بخبخة) .

٥ - إمكان إعادة استخدامها فلاتترك مخلفات ملوثة .

٦ - رخص تكاليفها .

وتتكون رمال قوالب الصب السباكة أساسًا من الرمل (السليكا) المتجانس فى حجم حبيباته وشكلها ، ويضاف إليه مادة رابطة هى فى العادة الطمى Clay (البنتونايت Bentonite) بنسبة قليلة (حوالى ٥٪) ثم يضاف لهذا الخليط كمية قليلة من الماء للترطيب ليسهل التشكيل والتماسك (حوالى٣٪) ويلزم لتشكل القوالب الرملية عمل نموذج (يسمى باللغة الدارجة أورنيك Pattern) يشبه الجزء المطلوب عمله بالسباكة ثم يتم طبع هذا النموذج فى الرمل تشكيل القالب المطلوب . إذ أنه لايمكن طبع الجزء المطلوب سباكته بأجزاء مطابقة له مباشرة فى الرمل للأسباب التالية :

١ - تكون طبعة الرمل (فراغ القالب) مطابقة للجزء المطلوب فى الشكل والأبعاد فى درجات الحرارة العالية وعند تجمد المعدن المنصهر المصبوب فى القلب ينكمش بالتبريد لدرجة حرارة الجو فتقل الأبعاد عن المطلوب .

٢ - يصعب تشكيل الأشكال المعقدة بالطبع من قطعة واحدة بسبب عدم إمكان إخراجها من الرمل بعد الطبع (وعادة يصنع النموذج من قطعتين أو أكثر لهذا السبب)

٣ - يجب عمل الجدران غير قائمة (مسلوبة قليلاً) ليسهل إخراج النموذج بعد الطبع من الرمل لضمان عدم انهياره .

٤ - يحتاج الأمر فى كثير من المسبوكات إلى تشكيل ثقوب أو فجوات (مسبوكات مفرغة) والتى تحتاج لذلك لقالب رملى إضافى يمثل الثقب أو الفراغ يسمى دليك Core ويحتاج هذا الدليك إلى ركائز يجب أن تشكل إضافيًا فى النموذج .

٥ - قد يحتاج الأمر لإجراء تعديلات فى الشكل الأصلى كتعويض لجزء مكسور مثلاً فيسهل عمله فى النموذج .

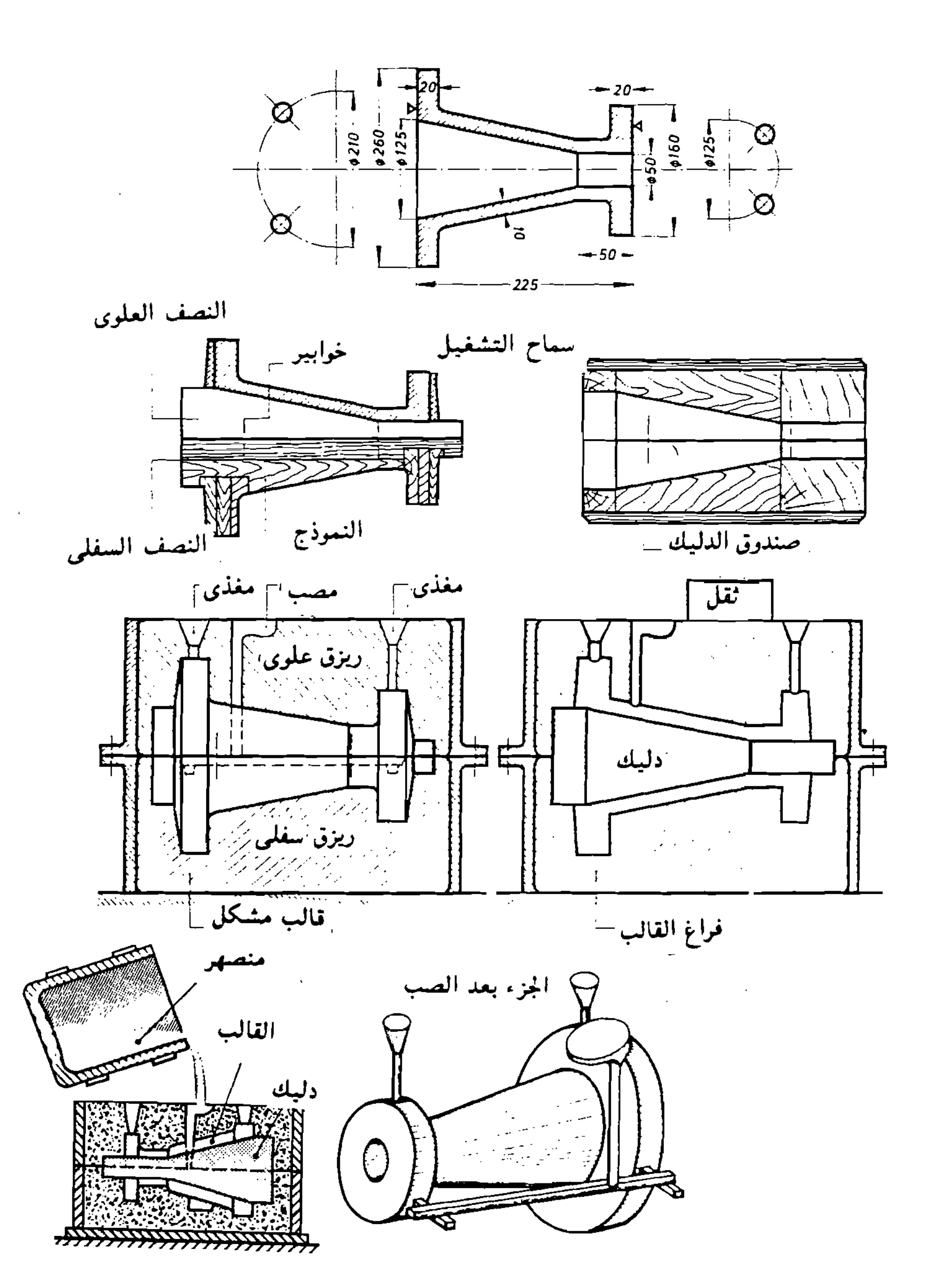
وتصنع النماذج من مواد يسهل تشكيلها وتتصف بالخواص التالية :

١ - سهولة التشكيل . ٢ - خفة الوزن . ٣ - عدم بلى سطحها .

٤ - سهولة صقل سطحها . ٥ - عدم تأثر أبعادها بظروف التشغيل كالرطوبة .

وأهم المواد التى تصنع منها نماذج السباكة هى الخشب والألومنيوم ويفضل الخشب فى النماذج التى تستخدم للإنتاج قليل العدد بينما يصلح الألومنيوم للإنتاج الغزير و(الشكل ٣-١) يوضح جزءًا مطلوبًا سباكته وشكل النموذج المناسب المكون من نصفين متطابقين (بعد زيادة الأبعاد المعادلة لحساب الانكماش المتوقع والزيادات الأخرى) ثم يشكل الدليك الذى سيصنع من الرمل ليشكل الثقب فى المسبوك ثم الصندوق الذى سيستخدم فى تشكيل الرمل الخاص بالدليك ويسمى هذا الصندوق صندوق الدليك Core Box .

وتصنع النماذج الخشبية من أجود أنواع الأخشاب كالسويدى والماهوجنى وتشكل من الخشب بحيث تجمع كتل من الخشب باتجاهات متباينة فى أليافها كى تحوز على خواص تمدد وانكماش متساوية فى جميع الاتجاهات ثم يشكل النموذج فى النهاية من الكتلة المتكونة ويتم التشكيل فى ورشة نجارة تسمى ورشة النماذج بها آلات النجارة المختلفة بجانب مخرطة خشب لتكوين الأشكال الاسطوانية .

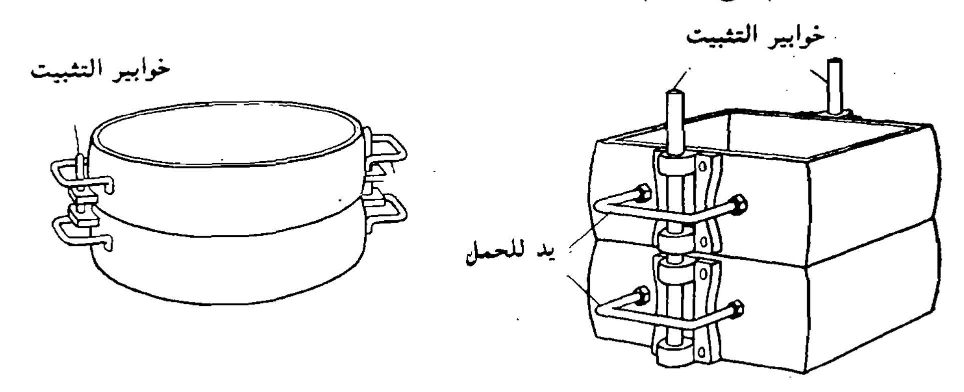


شكل (٣-١) خطوات عمل قالب صب لوصلة مواسير مسلوبة

٣ - ١ - خطوات تشكيل القالب الرملى :

يستخدم فى هذا السبيل صندوقين من حديد الزهر (للمسبوكات الكبيرة) أو من الألومنيوم للمسبوكات الصغيرة. هذان الصندوقان مفتوحان من القمة والقاع ، تسمى عاميًا

بروازق FIASKS صندوق علـوى يسمى Cope وصنـدوق سفلى يسمى Drag شكل (٣-٢) ويمكن تثبيت الريزقين العلوى مع السفلى بحيث يأخذان وضعًـا ثابتًا لا يتغير بعضهما بالنسبة للبعض الآخر ويتم طبع (ختم) القالب حسب الخطوات التالية :



شكل (٣-٢)روازق تشكيل قوالب السباكة

١ - وضع لوحة مستوية من الخشب على المنضدة .

٢ - وضع الريزق السفلى وفق اللوحة الخشبية .

٣ - وضع النصف السفلى للنموذخ فى وسط الريزق فوق اللوحة .

٤ - رك (دك) كمية من الرمل (المستخدم فى صناعة القالب) حول النموذج بدءًا برمل جيد وجديد حول النموذج وانتهـاءًا برمل مسبك مستعمل حتى يملأ الريزق السفلى ويستوى السطح بمسطرة مستوية .

٥ - يُقْلَب الريزق السفلى بمحتوياته فوق اللوحة الخشبية فيصبح نصف النموذج فى قمة الريزق .

٦ - يوضع الريزق العلوى فوق الريـزق السفلى ويثبت معه بالخوابيد الخاصة بالتثبيت ثم يوضع نصف النموذج الثانى فوق النصف الأول منه .

٧ - يرش بعض من الجرافيت (أو مسحوق الفحم) داخل الريزق للعزل .

٨ - يرك دمل الريزق العلوى مثلما حدث فى الريزق السفلى بعد وضع خابور من الخشب شكله اسطـوانى مسلوب (مخروط قليل الميل) ليمثل فتحـة صب المعدن مستقبـلاً . ويسوى سطح الرمل بمسطرة تسوية .

٩ - ينزع الـريزق العلوى عن السفلى وينزع نصف النمـوذج من الريزقين بحرص شـديد حتى لا يتهدم الرمل.

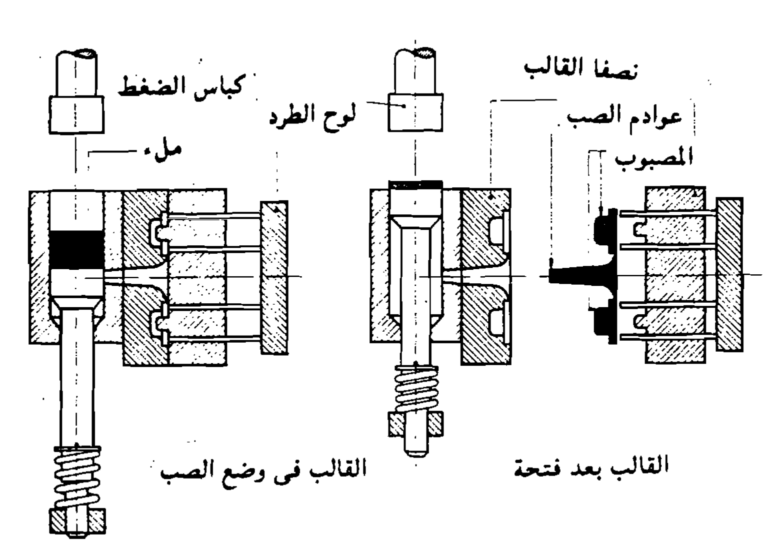
١٠ - تـرمم الأجزاء التى تكـون قد تهدمـت وتسوى الأسطح وتـرش بالجرافيت لجعلهـا ملساء وتكمل فتحة المصب لتتصل بفراغ القالب .

١١ - يوضع الدليك - بعـد تشكيله منفصلاً فى صندوق الدليك - فى مكـانه على ركائز فى القالب المشكل .

١٢ - يرسل القـالب للتجفيف للتخلص من الرطـوبة الزائدة فيـزداد تماسكه ومقـاومته للإجهادات ويتم ذلك فى أفران تجفيف خاصة .

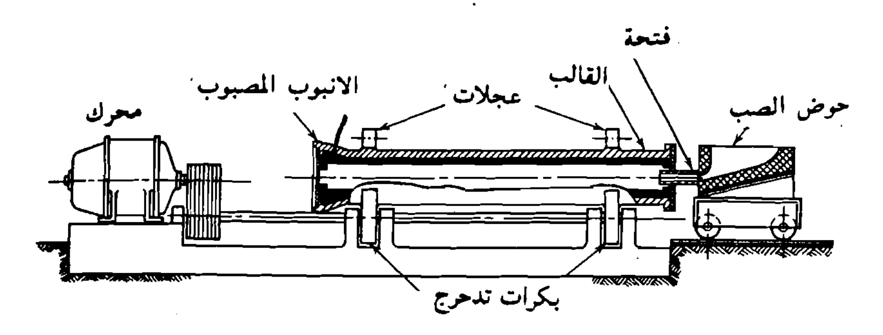
بعد الانتهاء من تشكيل القـالب يمكن صب المعدن المنصهر به . وبعـد تجميد المنصهر يهدم القـالب الـرملى ويستخـرج المسبـوك ويكسر المصب وينظف المسبـوك ثم يختبر . شكل (٣-١) .

أمـا القـوالب التى تستخـدم لأكثـر من سبكـة واحـدة فيمكن أن تصنع من الجبس أو المصيص وتصمم بحيث يمكن فتحها لإخـراج المسبوك ثم غلقها للسبكة التـالية دون تهدم أو تشويـه وتستعمل هذه لمرات محدودة وقـد تصنع قوالـب متشابهة من الحديـد الزهـر لتستخدم لعدة آلاف من المسبوكات .



شكل (٣-٣) سباكة الاسطمبات بالضغط

ومن ناحيـة أخرى يمكن استخـدام قوالب معـدنية من معـادن تتحمل درجات الحرارة العالية بحيث يحقن فيها المعدن المنصهر ليملأ فراغ القالب ثم يترك لبضعة دقائق حتى يتجمد ويفتح القالب آليًا لاستخراج المسبـوك ثم يعاد غلق القـالب وإعادة حقنـه وهكذا ، وتسمى هذه الطريقة بسبـاكة الاسطمبات (القوالب المعدنية) بـالضغط شكل (٣-٣) وهذه الطريقة تصلح للإنتـاج الغزيـر الذى يتجـاوز عدة آلاف من القطع إلى الملايين وهنـاك طريقـة أخرى للسباكة تسمى طـريقة السباكة بالقـوة الطاردة المركزية إذ يوزع المعـدن المنصهر داخل القالب بتأثير القوة الطاردة المركزية . وينتج بهذه الطريقة أنابيب الزهر والصلب الكبيرة المستخدمة فى إنشاء خطـوط الأنابيب الطويلة وتـوصيل بعضها ببعض (باللحـام) ويوضح شكل (٣-٤)

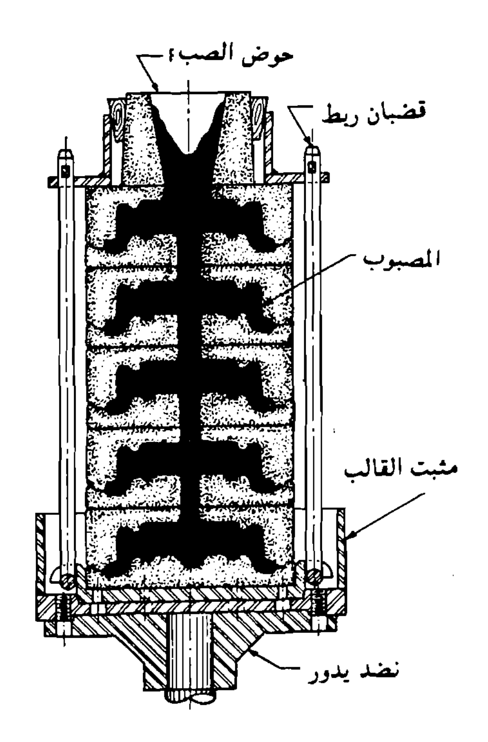


شكل (٣-٤) صب الأنابيب بالقوة الطاردة المركزية

طريقة صناعة أنبوب طويل بهذه الطريقـة إذ يكون القالب على شكل اسطوانة قطرها الداخلى يعادل ويـنـاظر القطـر الخارجى للأنبوب المطلـوب سباكته وهـذا القالب يـدور حول محور ثم يصب داخلـه (وهو يـدور) المعـدن المنصهر الـذى يتوزع بتأثير القـوة الطـاردة المركزيـة على المحيط وبانتظام وبعد التجمد يخرج الأنبوب ويعد القالب لصب أنبوب ثان وهكذا .

وهـذه هى إحـدى الطـرق لصناعـة الأنابيـب الكبيرة غير الملحومـة بطريقـة السباكـة Seamles Pipes بجانب طرق الدلفنة والسحب .

ويمكن بسباكة القوة الطاردة المركزية صنـاعة عجلات الخطوط الحديدية كما فى « شكل (3-5) » حيث ترص روازق مشكل بها قوالب لعدة عجـلات تتحد فى محورها . ويصب المعدن من مصب فى القمة فيسرى إلى القـاع ويملأ فـراغ كل القوالب بالقـوة الطاردة المركـزية حيث تدور كـل هذه الـروازق حول محورها المشترك . كما يمكـن استخدام نفس الطـريقة لمسبـوكات صغيرة متعددة فى صبة واحدة تتفرغ من مجرى المصب وتشبة فى تكوينها عناقيد العنب .



شكل (٣-٥) صب مجموعة من عجلات السكك الحديدية بالقوة الطاردة المركزية

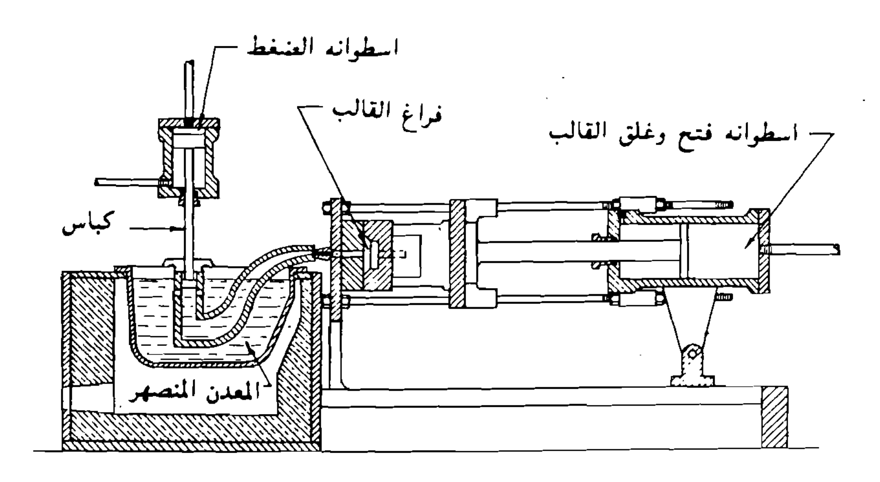
وتتصف المسبوكات المصنوعة بالقوة الطاردة المركزية بتجانسها وخلوها من الفقاقيع (البخبخة) والخبث والمواد الغريبة علاوة على انتظام سمكها .

كانت هذه عمليات السباكة التى تتم بصهر المعادن وسبكها أو حقنها فى قوالب بالشكل المطلوب ويمكن من ناحية أخرى تطبيق نفس المبدأ بالنسبة لتشكيل اللدائن إذ يجرى تسخينها حتى درجة حرارة تكفى لقرب تسيلها (بقوام ثقيل نسبيًا) ثم تحقن فى القوالب بالشكل المطلوب شكل (٣-٣) و شكل (٣-٦) .

٣-٣- عمليات التشكيل بوصل المعادن Metal Joining :

يحتاج إنتاج الأشكال المعقدة فى شكلها أو الكبيرة فى أحجامها أو المعقدة فى شكلها إلى صنعها من أجزاء بسيطة ولحام بعضها ببعض لإنتاج الشكل المعقد أو الكبير المطلوب .

وقد يتم الوصل بالطرق الميكانيكية باستخدام مسامير القلاووظ والصواميل (وصلات مؤقتة يمكن فكها عند الحاجة) أو باستخدام مسامير البرشام (وصلات شبه مؤقتة) وقد يتم الوصل بدمج أطراف المعدن ببعضها (متالورجيا) بالطرق المعروفة باللحام (وصلات دائمة) .



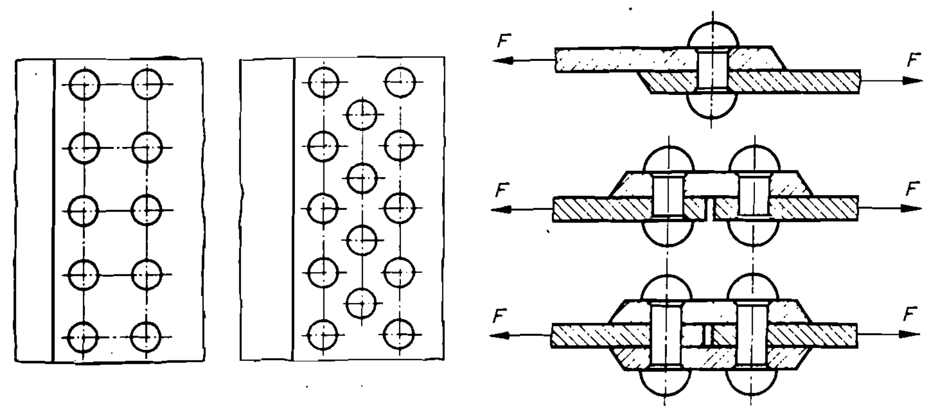
شكل (٣-٦) مكنة الصب فى الاسطمبات (القوالب) بالضغط

٣-٣-١- الطرق المكيانيكية Mechanical Joining :

أهم هـذه الطرق هى البرشمـة أى بـاستخدام مسـامير البرشـام لوصل الأجـزاء وتجميع بعضها مع البعض وتستخدم هذه الطريقـة فى المنشآت كبيرة الحجم مثل الجمالونات والجسور (الكبارى) الحديدية وربط الدعائم والكمرات وفى تشكيل المراجل البخارية وأوعية الضغط .

وتتم عملية الـوصل بعمل ثقوب فى الأطـراف المطلوب وصل بعضهـا ببعض ثم إدخال مسامير (يطلق عليهـا مسامير البرشام) ثم الطـرق عليها (على رأس هذه المسـامير) لإحكام الوصل بين الطرفين ومنعهـا من الانفصال وتصنع مسامير البرشام من المعادن اللـدنة ولابد أن تكـون من نـوع المعـدن المطلـوب وصلـه (حتى لايحدث تـآكل من جـراء اختـلاف نـوعهـا) فوصلات النحاس تبرشم بمسامير النحـاس والألومنيوم والصلب وفى وصلات الصلب تصنع مسامير البرشام من الصلب اللدن ليسهل تشكيلها وتختار أقطار مسامير البرشام بحيث تعادل مرة ونصف ثخانة اللوح أو الوصلة المطلوب وصلها ويكون طول المسمار قريبًا من ضعف قطره . وقـد تتم البرشمة يـدويًا فى الأشغـال الصغيرة والبسيطة بـالطرق بمطـرقة على طـرف المسمار لتكـوين رأس له تمنعـه من الخروج وقد تتـم البرشمة فى الأعمال الكبيرة بمطـرقة آليـة (بضغط الهواء) وباستخدام اسطمبة تشكل رأس المسمار بشكل نصف كـرة . وفى الوصلات التى تحتاج إحكامًـا جيدًا لمنع التسرب من خـلالها يتم تسخين مسامير البرشام إلى درجـة حرارة عـالية ثم تبرشم وهى ساخنة فيسهل برشمتها وثمة فائدة أخرى وهى انكماشها عندما تبرد فيساعد ذلك على ضغط طرفى الوصلة بعضها تجاه البعض وإحكامها تمامًا ضد التسرب .

وتوضع مسـامير البرشام فى الوصلـة إما بصورة مفـردة أو مزدوجة أو ثـلاثية أو قد يـزيد عددها عن ذلك حسب التصميم والمقاومـة المطلوبة للوصلة وترتب ترتيبًـا معرجًا أو مسلسلاً وشكل (٣-٢٣) يوضح بعض وصلات البرشام الشائعة ومن أهم عيوب وصلات البرشام أنها تتسبب فى ضعف طـرفى الوصلـة بسبب الثقوب الموجودة (تقلـل مساحة المقطـع) علاوة على تـركيز الإجهـادات عنـد حز ضيـق على المسامير يحدث عنـده الكسر عنـد الإفراط فى إجهـاد الوصلة أو عند تعرضها لإجهادات ديناميكية .



شكل (٣-٢٣)بعض أنواع وصلات البرشام

٣-٣-٢- عمليات اللحام :

تشمل هـذه العمليات أنـواع اللحام العـام Welding ولحام المونـة Brazing واللحام الخفيف المعروف بـالسمكرة (لحام القصـدير Soldering) وتختلف طـرق اللحام عن الطـرق الميكانيكيـة فى كون الأولى تتـم بالتـوصيل بطريقـة أكثر إلتصـاقًا (على المقيـاس الذرى) أى يقترب طـرفًا الـوصلة بعضهـا من بعض حتى تقـرب المسافـة بينهما من الأبعـاد الذريـة فتقع الذرات فى مـدى نفوذ بعضها البعض فيتم الارتباط بقـوة تقرب من قوة ارتبـاط الذرات داخل المعـدن الأصلى ذاتـه بينما لايتم ذلك فى الـوصـلات الميكانيكيـة التى لاتقـوى أطـرافهـا على الإقتراب إلى هذا الحد إذ تبقى طبقات من مواد غريبة كـالأكاسيد وما شابهها تحتل سمكًا كبيرًا يفصل الذرات على أسطح طـرفى الوصلة بمسـافات كبيرة وبمعنى آخر فإن وصـلات اللحام تعتمد على الارتباط الذرى بالاقتراب بينها ولكى يتم ذلك لابد أن يتحقق مايلى :

١ - أن تكون أسطـح الوصـلات المطلوب ربطها نظيفـة من النـاحية الكيميـائية أى أن تكون الأسطح نظيفة تمامًا وخالية من الأكاسيد أو القاذورات أو أى مواد غريبة (أى أن ذرات السطح يجب أن تكون ممثلة تمامًا لذرات لحامه) .

٢ - استخدام طاقة (ميكانيكية أو حرارية أو كليهما لتحقيق الإقتراب السطحى (الذرى) المطلوب .

ولايمكن بأى حال من الأحوال إجراء أى عملية لحام دون تحقيق الشرطين معًا . وبقدر الإخفاق فى تحقيق أى منها بقدر إخفاق اللحام ذاته . ويتم التنظيف إما ميكانيكيًا أو كيميائيًا أو كهربائيًا ولايجوز أن تقتصر عملية اتنظيف على مرحلة قبل اللحام بل لابد أن تمتد إلى فترة إجراء اللحام ذاتها وحتى نهايتها . ويقصد بالتنظيف الميكانيكى إزالة الطبقة السطحية بفرشة سلك أو مبرد أو تجليخ أو السنفرة أو بالكشط أو الخرط . أما التنظيف الكيميائى فيتم عادة بعد إجراء التنظيف الميكانيكى باستخدام مواد كيميائية تنصهر فى درجة حرارة أقل من درجة حرارة اللحام وتتحد مع الأكاسيد أو تذيبها أو تختزلها أو تكون معها مركبات منخفضة الإنصهار فتنصهر ويسهل إزالتها وتظل طبقة المواد الكيميائية المنصهرة فوق الوصلة واقية لها من إحتمال أى أكسدة أثناء اللحام حتى ينتهى اللحام تمامًا ويطلق على المواد الكيميائية هذه مساعدات اللحام(أو صهر) Fluxes وقد تكون هذه المواد من مركبات أملاح كلوريدات أو فلوريدات أو بوريدات أو سليكات أو كربونات المعادن أو خلائط بينها وقد تكون فى صورة غازات مثل أول وثانى أكسيد الكربون - النيتروجين - الأرجون - الهيليوم - الهيدروجين . أو قد تتم عملية اللحام فى جو مفرغ Vacuum أى بعيدًا عن أكسجين الجو وأثره السيء .

ومن وجهة نظر الشرط الثانى لتحقيق اللحام . فإن الطاقة اللازمة لتحقيق الارتباط الذرى قد تكون حرارية أو ميكانيكية أو بهما معًا .

فقد تستخدم الطاقة الميكانيكية البحتة لتحقيق اللحام بضغط طرفى الوصلة تجاه بعضهما البعض ضغطًا كافيًا للحامهما وهو المعروف باللحام على البارد .

وقد تستخدم الطاقة الحرارية وحدها لتحقيق اللحام بصهر طرفى الوصلة بالتسخين فيتحقق اندماج ذرات السطح بعد الإنصهار وهى الطريقة المعروفة بلحام الاندماج أو الصهر Fusion Welding وقد تستخدم الطاقة الحرارية مع الميكانيكية بتسخين طرفى الوصلة إلى درجة متوسطة دون صهرهما ثم ضغطهما ميكانيكيًا حتى يلتحما وهى الطريقة المعروفة باللحام بالضغط على الساخن Hot Pressure Welding .

٣-٣-٢-١- لحام الصهر Fusion Welding :

ويتم إما باستخدام مصدر كيميائى أو مصدر كهربائى لتوليد الحرارة اللازمة للحام .

وأهم المصادر الكيميائية لتوليد الحرارة المناسبة للحام هى باستخدام غاز الاستيلين وحرقه مع الأكسجين (لحام الأكسى استيلين) وأهم المصادر الكهربائية للحرارة هى بتوليد قوس كهربائى. وهى الطريقة المعروفة باللحام بالقوس الكهربائى Electric Arc Welding.

٣-٣-٢-١-١- اللحام بالأكسى أستيلين Oxy Acetylene Welding :

يكون مصدر الأستيلين إما بتحضيره مباشرة بتفاعل كربيد الكالسيوم مع الماء حسب التفاعل :

$$CaO_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2 + 129\ KJ/mol$$

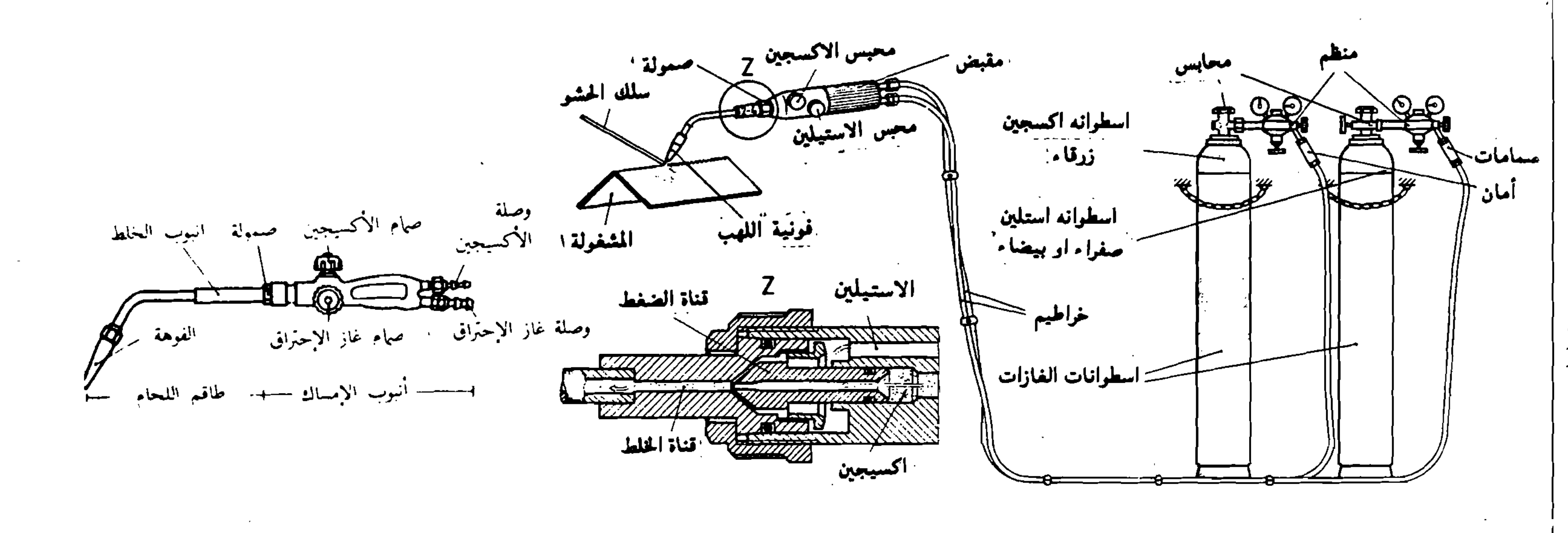
وقد يستخدم مباشرة من محضر الغاز أو قد يعبأ فى أنابيب أو اسطوانات كبيرة من الصلب وهو الأمر الغالب فى الاستخدام وتكون تعبئة غاز الاستيلين فى الأنابيب تحت ضغط يعادل ١٥ ضغط جوى مذابًا فى سائل الأسيتون الذى يمتص الغاز بدوره فى مواد إسفنجية مثل الخشب والاسبستوس ونخاع وألياف الأشجار وتنتهى الأنبوبة المحتوية على هذا الغاز المذاب بمحبس للغلق ثم بمنظم للتحكم فى ضغط الغاز (الحصول على ضغط منتظم تمامًا بغض النظر عن ضغط اسطوانة الغاز سواء كانت فارغة أو ملأى) .

أما الأكسجين فهو يحضر بضغط الهواء وتبريده ثم يتم فصل الأكسجين وتعبئته فى اسطوانات وكذلك النيتروجين . ويعبأ إكسجين تحت ضغط ١٢٠ جوى . ويستخدم كذلك صمام للفتح ومنظم للغاز ويوصل غازًا الاستيلين والاكسجين عن طريق خراطيم وصمام للأمان (لحماية اسطوانات الغاز من رجوع اللهب إليها وانفجارها) وبورى خلط الغازين الذى يخلطهما بنسبة متساوية ١ إلى ١ ويتم التفاعل بين الأكسجين والاستيلين على مرحلتين كما يلى :

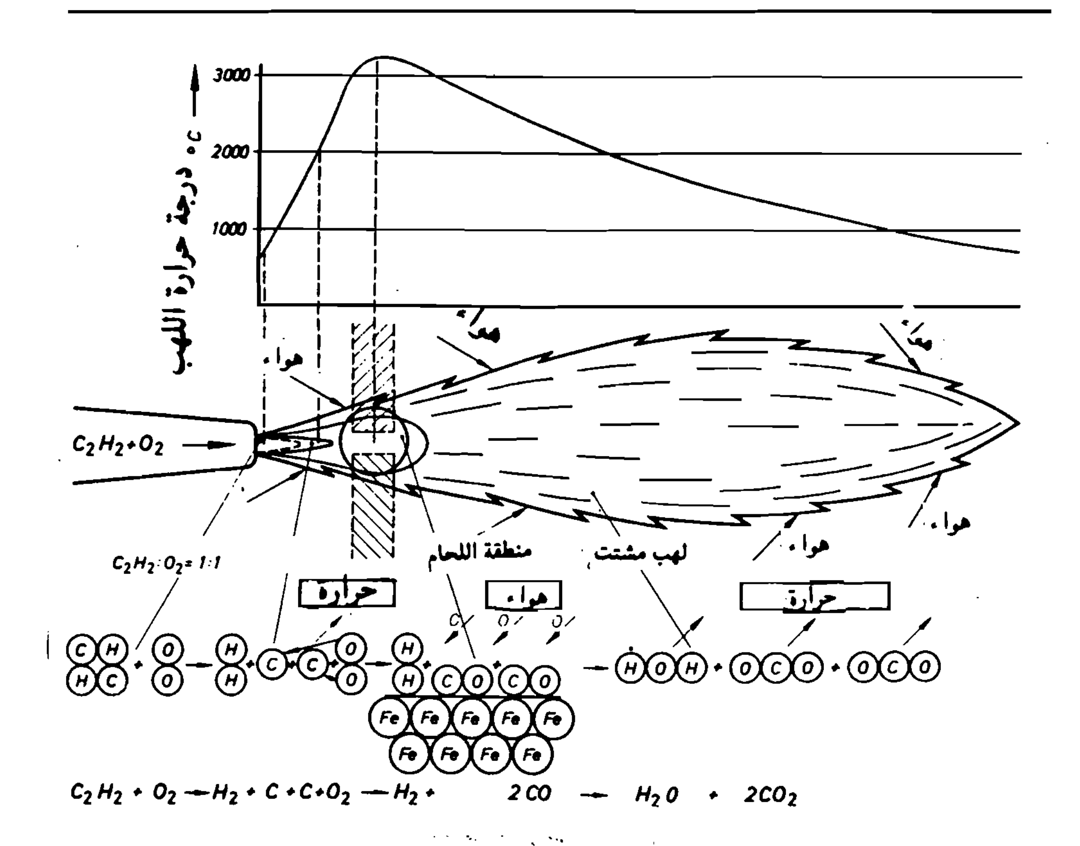
المرحلة الأولى: $C_2H_2 + O_2 \longrightarrow 2CO + H_2 + 203,6 MJ/Kg\ mol.\ C_2H_2$

الأكسجين الموجود فى المعادلة مصدره هنا اسطوانة الأكسجين .

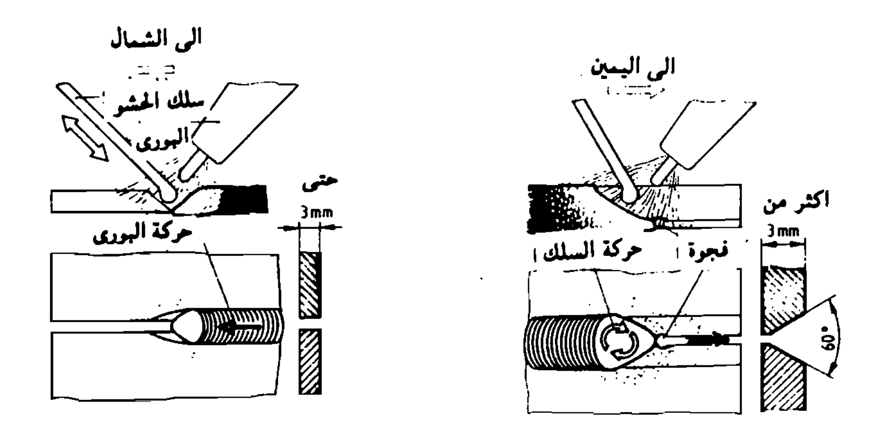
المرحلة الثانية: $CO + H_2 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + 369,2\ MJ/Kg\ mol.\ C_2H_2$



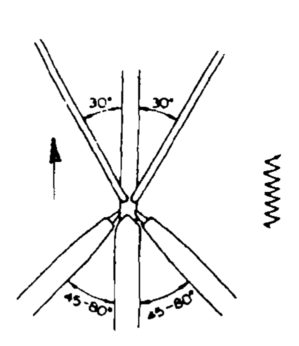
شكل (٣-٢٤) معدات وتوصيلات اللحام بغازى الأكسجين والإستلين

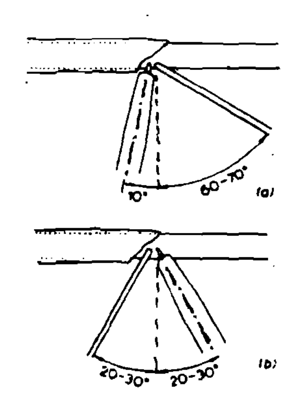


شكل (٣-٢٥) التفاعلات وتوزيع الحرارة فى لهب الأكسى استلين



شكل (٣-٢٦) معدات اللحام الأمامى (من اليسار إلى اليمين)
اللحام الخلفى (من اليمين إلى اليسار)





شكل (٣-٢٧) اللحام فى السقف

ومصدر الأكسجين فى هذه المعادلة الأخيرة هو الهواء الجوى المحيط باللهب .

يبين شكل (٣-٢٤) بورى الخلط اللحام بـالأكسى أستيلين ، و شكل (٣-٢٥) يوضح شكل اللهب الخارج من بـورى اللحام والـذى يتضح منه مـرحلتا التفاعل حسـب المعادلات الموضحة ورغم أن كمية الحرارة النـاتجة من التفاعل الأول تعادل تقريبًـا نصف التفاعل الثانى الموزع على حجم لهب كبير ولـذلك تكون أقصى درجـة حـرارة عند نهايـة المرحلة الأولى تمامًـا وتبلغ حو ٣٣٠٠°م علاوة على أن المنطقة المحيطة بنهايـة التفاعل الأول تشمل غازات مختزلة وهى أول أكسيد الكـربون والهيـدروجين مما يسـاعد على اختـزال طرفى الـوصلة وتحقيق الشرط الأول للحـام وهو التنظيف دون الحاجـة إلى استخدام مسـاعدات صهـر (لحام) Fluxes هو الأمر المعتـاد فى لحام الصلب أى أن الاختزال هنا ذاتى . أمـا فى حالة لحام المعـادن الصعبة فى اختزالها مثل الألومنيـوم فيستعان بمساعد صهر (لحام) بجانب جعل اللهب مختـزلاً (بزيادة نسبة الاستلين عن الأكسجين) وكلما كان اللهب مؤكسدًا (بزيادة الأكسجين عن الاستيلين) ارتفعت درجـة الحرارة وهو لهب يصلـح للحام المواد الخزفيـة (هى مـواد مكونـة من خـلائط أكاسيد لا يخشى أكسدتها) .

أسلوب اللحام بالأكسى أستيلين :

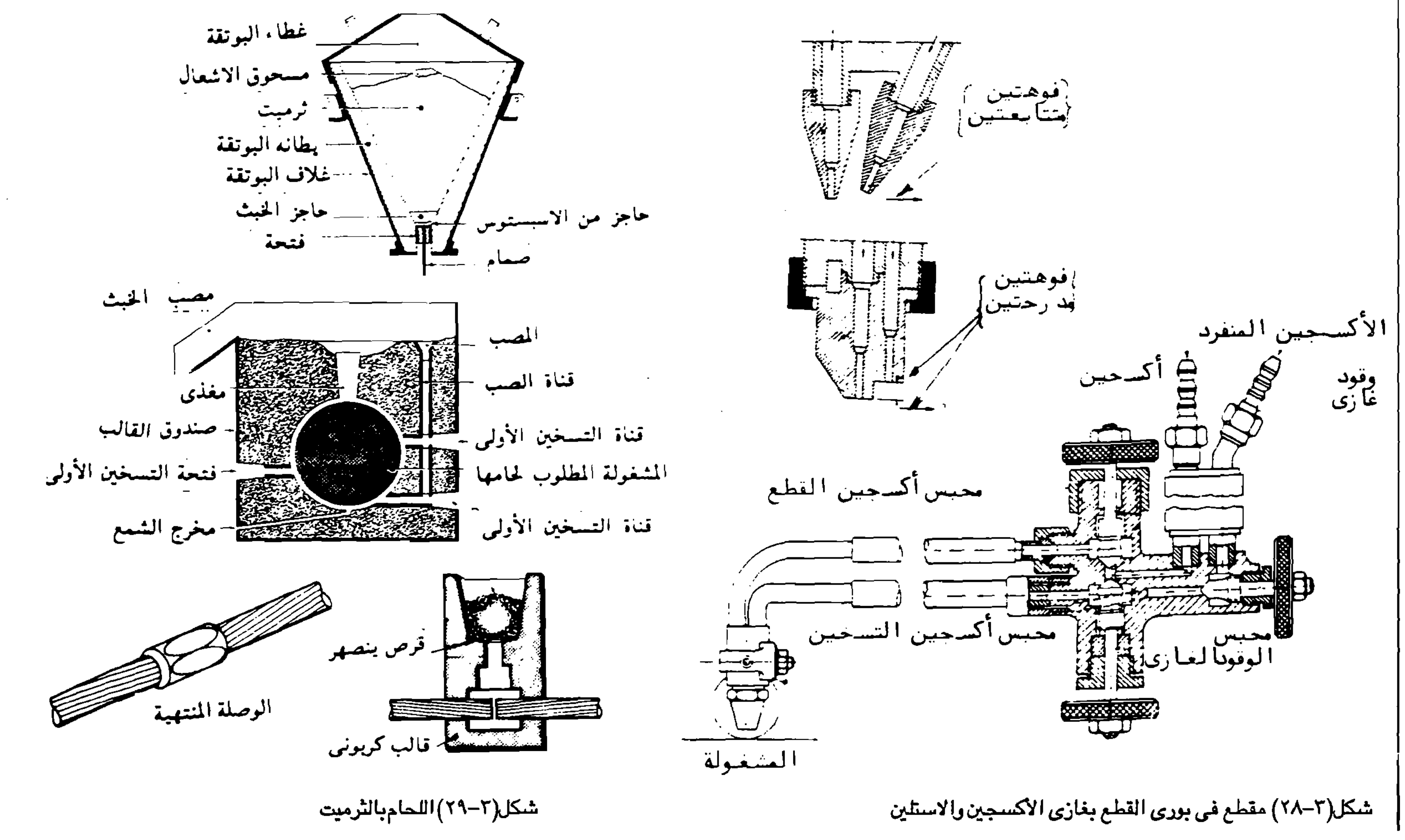
يكون اللحام بلهب الأكسى أستيلين خلفيًا أى يمسك بورى اللحام باليد اليمنى وسلك الحشو Filler Wire باليد اليسرى ويصير التحرك بهما على طول خط اللحام من جهة اليمين إلى اليسار وهذا الأسلوب يصلح للحام الألواح الرقيقة أما إذا كان التحرك من اليسار إلى اليمين وهو ما يسمى باللحام الأمامى فيصلح للحام الوصلات السميكة (أكبر من ٥ مم شكل(٣-٢٦) وتجهيز الوصلات بتشكيل أطرافها حسب سمك الوصلة و شكل (٣-٢٧) يوضح أسلوب اللحام الرأسى وكذلك اللحام فى السقف بلهب الأكسى أستيلين .

٣-٣-٢-١-٢- القطع بلهب الأكسى أستيلين Cuting With Oxyacetylene Flame

يتم القطع بمبدأ أكسدة الجزء المطلوب قطعه ويتم ذلك باستخدام بورى قطع خاص يشبه بورى اللحام تمامًا إلا أن به وصلة إضافية لغاز أكسجين إضافى شكل (٣-٢٨) وتبدأ عملية التسخين للوصلة باللهب وبعد الوصول إلى درجة حرارة عالية يفتح غاز أكسجين القطع الذى يتولى أكسدة الجزء الساخن ونزعه من مكانه بتأثير مرور الغاز فتخرج الأجزاء المنفصلة على صورة برادة مؤكسدة كشرر متناثر ويحرك بورى القطع على الوصلة ببطء ليتم القطع على طول خط التحرك ، ويمكن أن يتم القطع بجانب ذلك تحت الماء كعمليات القطع التى تتم فى السفن الغارقة ، وذلك باستخدام بورى القطع المعتاد ولا يجب أن يفهم أن اللهب سينطفىء تحت الماء إذ أن ذلك لا يحدث طالما كان ضغط غاز الاحتراق وأكسجين القطع يزيد على ضغط الماء فيتم الاشتعال وتخرج غازات الاحتراق (العادم) فى صورة فقاقيع تتسرب عبر الماء إلى السطح . ويضاف إلى بورى القطع السابق شرحه فى هذه الحالة وصلة إضافية للهواء المضغوط الذى تكون مهمته مقصورة على إبعاد المياه عن البقعة التى يتم القطع عندها وبالتالى ينعدم تبريدها بالماء بجانب كون الهواء يساعد على استقرار اللهب واتزانه .

٣-٣-٢-٢- اللحام بالثرميت Thermit Welding :

تنتج الحرارة فى هذه الطريقة من تفاعل كيميائى طارد للحرارة مثل ذلك التفاعل بين أكسيد الحديد الذى ينتج من عمليات الدرفلة وبين الألومنيوم النقى حيث يتأكسد الأخير تاركًا الحديد مختزلاً مع طرد كمية كبيرة من الحرارة حسب التفاعل .



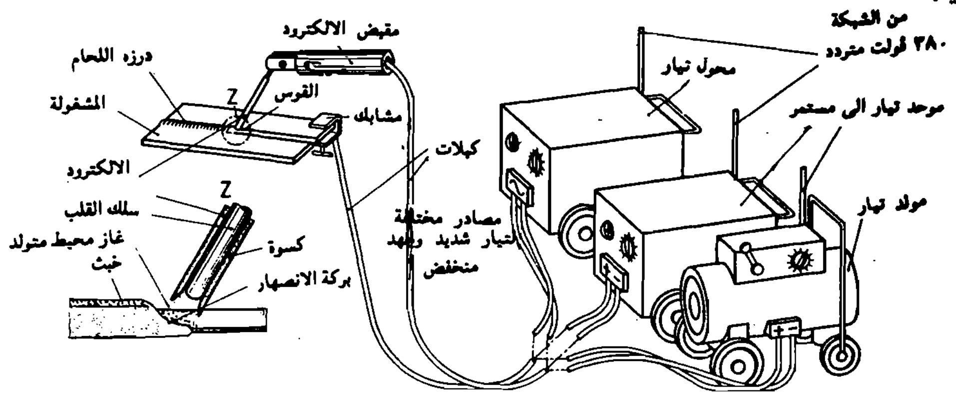
شكل(٣-٢٨) مقطع فى بورى القطع بغازى الأكسجين والاستلين

شكل(٣-٢٩) اللحام بالثرميت

ويتكون مسحوق الثرميت على هذا الأساس من مساحيق أكسيد الحديد والألومينوم يضاف إليها الفيرومنجنيز والفيروسليكون والكربون (الإضافات الأخيرة للتخفيف من حدة الحرارة الناشئة وليطابق الحديد الناتج الصلب المراد لحامه فى تركيبة) . وتستخدم هذه الطريقة بصفة خاصة فى لحام القطاعات الكبيرة (كقضبان الترام) وتتم بفصل طرفى الوصلة بمسافة ١٠ إلى ٨٠ مم ويملأ هذا الفراغ بالشمع ثم يشكل حولى نصفى الوصلة قالب رملى مشابه لذلك الذى يستخدم فى عمليات السباكة ويشكل به أيضًا مصب وفتحة سفلية إضافية يتم التسخين منها بعد الانتهاء من تشكيل القالب فينصهر الشمع ويخرج من الفتحة السفلى التى تسد فى النهاية ويشعل مسحوق الثرميت فى بوتقة خارجية ثم يصب وهو مشتعل من فتحة المصب فى القالب فيملأ المنصهدرالفراغ بين نصفى القالب ونظرًا لارتفاع درجة حرارته المفرط فإنه يتولى صهر جزء من طرفى الوصلة ويندمج معها شكل (٣-٢٩) وبعد برودة الوصلة يهدم القالب ويصير تسوية الحروف الزائدة .

٣-٣-٣- اللحام بالقوس الكهربائى Electric Are Welding :

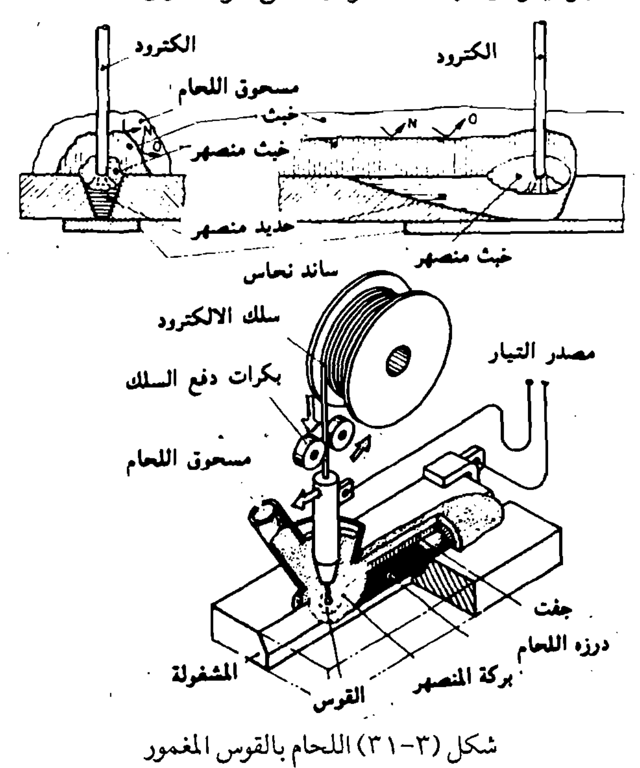
فى هذه الطريقة تتولد الحرارة اللازمة للحام بتحويل الطاقة الكهربائية إلى حرارية بالقوس الكهربائى الذى يتولد بين قطب كهربائى يسمى الالكترود Electrode وبين المشغولة شكل (٣-٣٠) وهذا القوس تكون درجة حرارته عالية تكفى لصهر كل المعادن . ومبدأ توليد القوس هو إحداث تفريغ كهربائى بمرور تيار شديد من الالكترونات عبر الثغرة الضيقة بين الالكترود والمشغولة ونتيجة لمرور الالكترونات بسرعة عالية واصطدامها بذرات الهواء أو الغازات الموجودة فى الثغرة وكذلك الاصطدام بالمشغولة فإنه تتولد حرارة شديدة نتيجة لذلك .



شكل (٣-٣٠) مجموعة اللحام بالقوس الكهربائى وأنواع مختلفة من مصادر تيار اللحام

وقد يستخدم فى هذا السبيل تيار مستمر ولو أن هذا الاستخدام نادر ويقتصر على حالات خاصة إلا أن الاستخدام الشائع هو استخدام التيار المتردد منخفض الجهد نسبيًا بين ٢٠ ، ٣٠ فولت ويكون بشدة عالية من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ أمبير ويسهل الحصول على هذا التيار بتحويل التيار الكهربائى المعتاد خلال محول كهربائى يتولى خفض الجهد من ٢٢٠ أو ٣٨٠ إلى ٢٠ أو ٣٠ فولت مقابل زيادة شدة التيار إلى القدر الذى يكفى لعملية اللحام والذى يتوقف مقداره على نوع المعدن وثخانة الوصلة . ويمكن أن يكون الالكترود غير مستهلك أى لا ينصهر فى عملية اللحام ويصنع حينئذ من مادة مرتفعة فى درجة الانصهار مثل التنجستين أو الكربون أما مادة الحشو للوصلة فتضاف فى صورة سلك حشو إضافى كالذى يستخدم فى لحام الأكسى أستيلين وفى هذه الحالة يغلب استخدام غاز خامل أو مختزل مثل الهيليوم أو الأرجون أو الهيدروجين لوقاية الوصلة من التأكسد واختزال أكاسيدها وللمساعدة على خلق قوس كهربائى مستقر.

ويمكن من ناحية أخرى كما هو شائع الاستخدام أن يكون الالكترود مستهلكًا أى يقوم مقام الالكترود وينصهر ليؤدى مهمة الحشو فى نفس الوقت وفى هذه الحالة قد يستخدم غاز



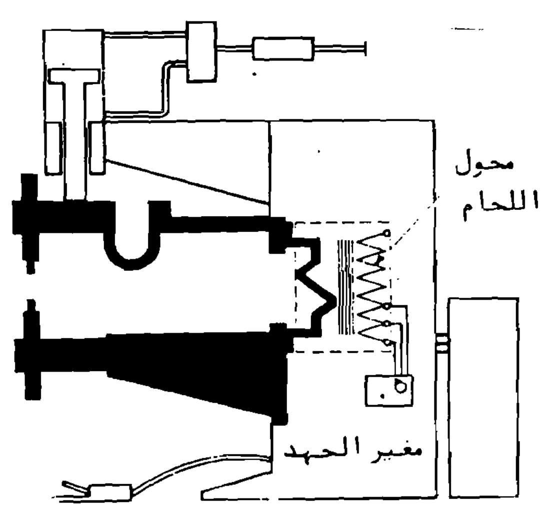
شكل (٣-٣١) اللحام بالقوس المغمور

ثانى أكسيد الكربون للوقاية من الأكسدة أو كسوة الالكترود ذاته بمواد كيميائية خاصة (اسمها مساعدات لحام Fluxes) لتنصهر أثناء اللحام وتقوم بحماية الوصلة من التأكسد علاوة على اختزال الأكاسيد الموجودة والمساعدة على خلق قوس مستمر .

وأهم المواد التى تكسى بها الالكترودات هى السليكا وثانى أكسيد المنجنيز والتيتانيا والألومينا والفورسبار (فلوريد الكالسيوم) والأسبستوس والطفل وسيلكات الصوديوم والبوتاسيوم وبعض الكلوريدات . وهى الكسوة التى نشاهدها فى أسياخ اللحام بالكهرباء . وقد أمكن فى السنوات الأخيرة الاستعاضة عن كسوة الأسياخ بهذه المواد وخلق القوس تحت كمية مناسبة من هذه المواد ترش على الوصلة بحيث ينغمر تحتها شكل (٣-٣١) وتسمى هذه الطريقة باللحام بالقوس المغمور Submerged Arc Welding وتصلح بصفة خاصة للقطاعات السميكة والتى تتطلب جودة لحام عالية مثل أوعية الضغط (وأنابيب الأكسجين والاستيلين والبوتاجاز) .

٣-٣-٤- اللحام بالضغط على الساخن Hot pressure Welding :

وفى هذه الطريقة تسخن أطراف الوصلة إلى درجة اللدونة ثم يضغط عليها حتى يتم اللحام . وقد يتم اللحام باستخدام طاقة حرارية من مصادر كيميائية مثل الفحم (كور الحديد) أو الثرميت مثال ذلك اللحام وقد يتم اللحام من ناحية أخرى كما هو شائع بتوليد الحرارة بالطاقة الكهربائية باستخدام المقاومة الكهربائية ويسمى لحام المقاومة الكهربائية .



شكل (٣-٣٢) مكنة لحام بالبقعة (المقاومة الكهربائية).

٣-٣-٤-١- لحام المقاومة الكهربائية Electric Resistance Welding :

فى هـذه الطريقة يمـرر تيار كهربائى شـديد عبر وصـلة اللحـام فيتحول التيار إلى حرارة فى المناطق التـى ترتفع فيها المقـاومة الـكهربائية إذ أن الحـرارة تتـوقف عـلى المقــاومة ومربع شـدة التيار .

$$Q=\int I^2 R.\Delta T$$

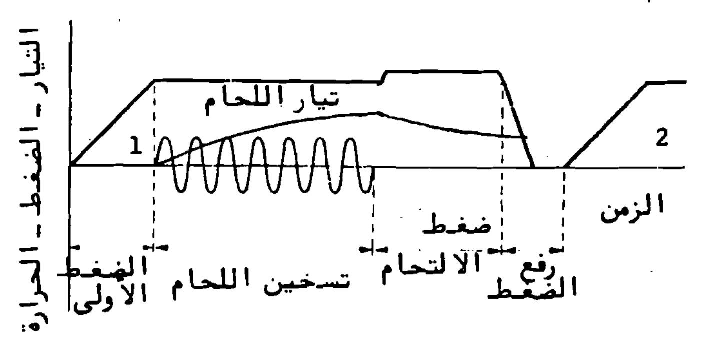
Q = كمية الحرارة المتولدة .

I = شدة التيار .

R = المقاومة الكهربائية .

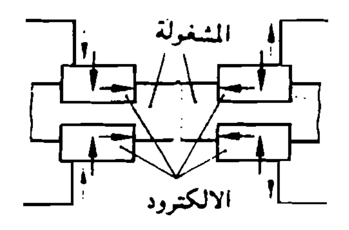
T = زمن مرور التيار .

ومن الواضح من شكل(٣-٣٢) الذى يمثل دائرة اللحام بالمقاومة الكهربائية أن أقصى مقاومة فى الدائرة الكهربـائية تكون عند تلامس طرفى الوصلـة إذ أن ملفات المحول الكهربائى تصنع من النحاس النقى وكذلك الكترودات الضغط وتوصيل التيـار حتى الوصلة فهى جيدة التوصيل للكهربـاء (قليلة المقاومة) ولـذلك تتركز الحرارة عند سطح تلامس طـرفى الوصلة . وتتكون دورة اللحام بالمقاومة الكهربائية من المراحل الرئيسية التالية .



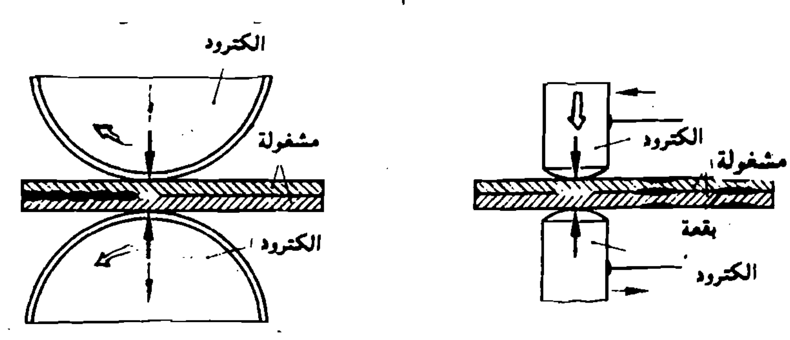
شكل (٣-٣٢) دورة لحام البقعة بالمقاومة الكهربائية
علاقة كل من الضغط وشدة التيار ودرجة الحرارة رأسيًا مع الزمن أفقيًا

١ - تطبيق ضغط ميكانيكى لتثبيت طرفى الوصلة .
٢ - مرور التيار الكهربائى لفترةتكفى للتسخين حتى تصل الوصلة إلى درجة اللدونة .
٣ - ضغط طرفى الوصلة ضغطًا شديدًا يكفى للحامها .
٤ - قطع التيار الكهربائى وإزالة الضغط .



شكل (٣-٣٣) وصلة تناكبية بالمقاومة الكهربائية

ويمكن أن تكون أطراف الوصلة تناكبية Butt Joint شكل (٣-٣٣) أو تراكبية Lap Joint والأسلوب الأول مستخدم فى صناعة السلاسل والمواسير الملحومة بصفة خاصة أما الثانى فهو شائع الاستخدام فى لحام الألواح والمعروف بلحام البقعة Spot Welding أو اللحام الخطى شكل (٣-٣٤) ويوضح شكل (٣-٣٥) أهم أنواع الوصلات الخاصة بأنواع اللحام المختلفة وذلك قبل بدء عمليات اللحام .



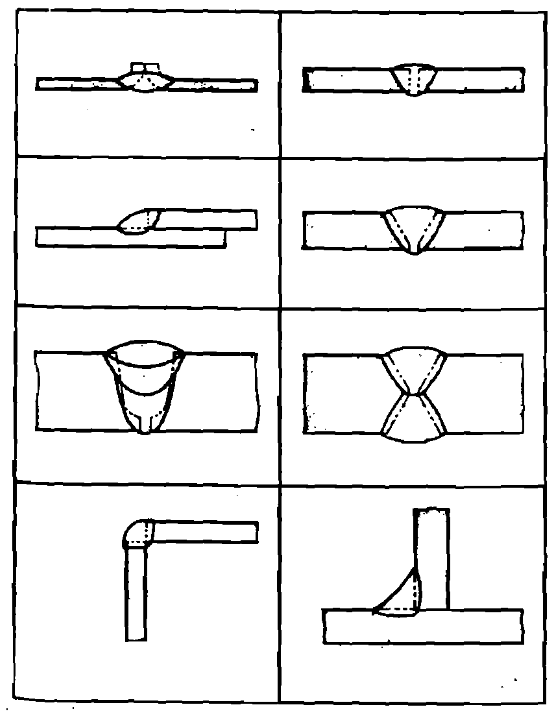
شكل (٣-٣٥) وصلة لحام خطى (بالمقاومة الكهربائية)

٣-٣-٤-٢- إنتاج المواسير الملحومة Seam Tubes :

ويتم إنتاجها على نطاق واسع بلف ألواح الصلب إلى مواسير ثم لحامها بلحام الصهر تناكبيًا أو لحام المقاومة تناكبيًا وقد يتم ذلك أيضًا بلف ألواح الصلب بصورة حلزونية ثم لحامها بالصهر (بالقوس الكهربائى) لإنتاج المواسير الملحومة حلزونيًا .

٣-٣-٥- اللحام بالسبائك الصهيرة الصلدة (المونة) Brazing :

تستخدم فى هذه العملية الطاقة الحرارية دون الطاقة الميكانيكية ولا يستفاد بالطاقة الحرارية لصهر أطراف الوصلة كما هو الحال فى لحام الصهر بل لتسخين أطراف الوصلة إلى درجة متوسطة فقط وبصهر بين طرفى الوصلة معدن أو سبيكة أخرى درجة حرارة انصهارها

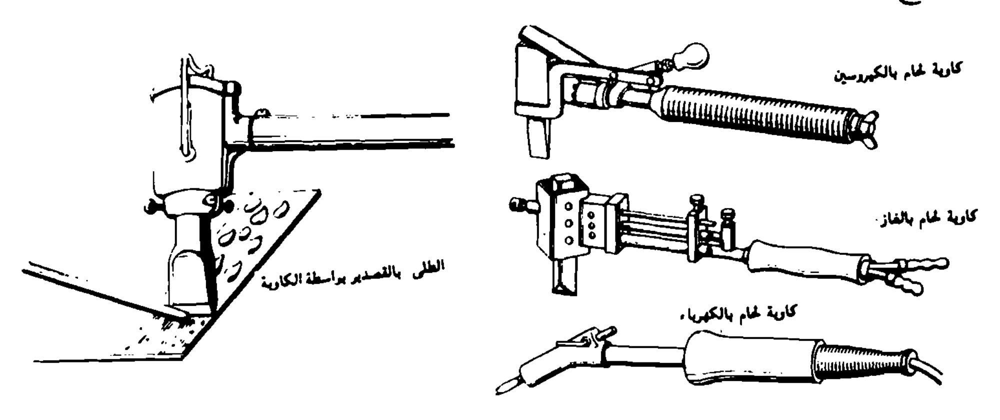


شكل (٣-٣٥) بعض أنواع وصلاح اللحام

منخفضة فتقوم هذه السبيكة ببل طرفى الوصلة بالشد السطحى وتندمج مع ذرات سطحها إذا تم تنظيف طرفى الوصلة قبل اللحام بمساعدات اللحام Fluxes) وعند التبريد تتجمد السبيكة المنصهرة وتقوم بربط طرفى الوصلة تمامًا مثلها تقوم المونة بربط الطوب ولذلك سميت هذه الطريقة عاميًا بلحام المونة وهى تستخدم على نطاق واسع فى الإنتاج الغزير لمنتجات مركبة من قطع صغيرة تجمع وتلحم بالمونة . ويمكن أن يتم التسخين بكل الوسائل المعروفة فى طرق اللحام الأخرى بجانب استخدام الأفران وأحواض الغطس (أحواض مملوءة بسبيكة لحام المونة المنصهرة تغطس فيها الأجزاء المراد تجميعها) . وأهم سبائك لحام المونة المستخدمة فى اللحام هى النحاس النقى - النحاس الأصفر - البرونز - سبائك الفضة مع النحاس والزنك والكادميوم - سبائك الألومنيوم والسليكون (للحام الألومنيوم) . وفى كل الأحوال تختار السبيكة التى تنصهر دون درجة حرارة انصهار الوصلة ويمكنها التسابك مع طرفيها بالانتشار .

٣-٣-٦- اللحام بالسبائك الصهيرة اللدنة (لحام القصدير أو السمكرة)Soldering

لا يختلف هـذا اللحام عن لحام المونـة إلا فى كـون سبيكة اللحـام تنصهـر درجة حـرارة منخفضة نسبيًا أقل من ٤٥٠ْ م وهى عادة من القصدير والرصاص وقد يضاف إليها الأنتيمون . ويمكن إجـراء هذا اللحـام بـوسائل التسخين المعـروفـة بجانب استخـدام كـاوية اللحـام بـالقصـدير المعـروفـة شكل(٣-٣٦) والتى تسخن من مصـدر حـرارى خـارجى أو تسخين بالمقاومة الكهـربائية (بملف تسخين داخلها) ويستخدم مسـاعد لحام فى لحام ألواح الحديد (الصفيح) كلوريد الزنك والنوشادر والقلفونية المذابة فى الكحول .



شكل (٣-٣٦) كاويات اللحام بالسبائك الصهرية اللدنة (القصدير - السمكرة)

٣ - ٤ لصق المعادن :

٣ - ٤ - ١ - اللصق هـو وسيلة لـوصل قطع مشغـولات بواسطـة طبقة لاصقـة بتسخين بسيط أو دون تسخين :

مجالات الاستخدام :

يكمّل لصق المعادن كعملية وصل مـادية ، عمليات البرشمة واللحام بالسبـائك الرخوة (السمكـرة). ويستخـدم اللصق فى الـوقت الحاضر لـلأسطح الخارجيـة للطـائرات والجسـور ولتركيبـات الأسقف والنـوافذ ولأجـزاء السيـارات. وهنـاك أمثلة أخـرى مثل لصق الأنـابيب وبطانات المكـابح (الفرامل) ولصق اللقم الكربيـدية على عدد القطع ، ويوفر اللصـق مزايا خاصـة عند وصـل المواد المختلفة بعضها ببعـض (الألومنيوم بـالفولاذ (الصلـب) أو الفولاذ

بالزجاج) وبذلك يتم التوصل إلى أسطح ملساء ووصـلات مانعة ، ومقاومة إجهادات منتظمة على المقطع المستعرض بأكمله ، كذلك إلى تأثير عازل وتوفير فى الوزن .

٣ - ٤ - ٢ - أنواع المواد اللاصقة (اللواصق) :

هناك أنواعًا معينة من الراتينجات الاصطناعية مثل الإبوكسيدات (الناتجة عن الأستلين والفينول) ، والراتنجات الفينـولية البسيطة وراتنجات البوليستر تتسم بمقـدرة عالية جدًا على الالتصاق بجميع المعادن ، ومن ثم تستخدم هذه المواد كراتينجات لاصقة للمعادن ، ويمكن التمييز بينها على الوجه الآتى :

اللواصق وحيدة المركب (مركب واحد) وتحتوى على جميع المكونات اللازمة للتصلد .

اللواصق ثنائية المركبات ، وتنتج عند خلط لاصق ومصلد ، وهى تتصلـد نتيجة لتفاعل كيميائى .

اللواصق الباردة ، وهى لواصق ثنائية المركبات يتـم خلطها مباشرة قبيل الاستخدام ويبدأ التصلد (ويسمى كـذلك بالتفـاعل) عند الخلط ويتم عند درجـة حرارة الغـرفة . ويبلغ زمن التصلد أربع وعشرين ساعة على الأقل عند درجة حرارة 220°C ، إلا أنه يمكن اختصار زمن التصلد إلى نحو ساعتين وذلك بإضافة مصلدات سريعة .

اللواصق الساخنة ، وتكون عـادة لواصق وحيـدة المركب ، وتتصلد بـالحرارة حتى درجة حرارة تبلغ 20°C ، وتحدد الشركة المنتجـة درجة حـرارة التصلد ، التى بـارتفاعهـا يقصر زمن التصلد ، وتتراوح فترة التصلد عمومًا ما بين ثلاثين دقيقة وأربع وعشرين ساعة .

تحذير : إن من الممكن أن يسبب التأثير المهيج للمواد اللاصقـة حساسية جلدية . فيجب تجنب ملامستها للجلد .

٣ - ٤ - ٣ - طريقة عمل اللواصق :

يعتمد عمل اللواصق على خاصية التصاقها بالمواد وعلى تماسك جزيئاتها .

تجربة على نموذج : يوضع لـوحان من الزجاج بعضها فوق بعض ثم يفصـلان ثانيًا . بعد ذلك تبلل أسطحها بـالماء فنجد أنهما يلتصقـان ببعضهما بقوة ، ولا يمكن فصلهما إلا بإزاحـة (أزلاق) أحدهما على الآخر ، ومن ثم يمكن للوحين نقل قـوة شد كبيرة عمودية على سطحيهما غير أنه لا يمكنهما نقل سوى قوى قص صغيرة .

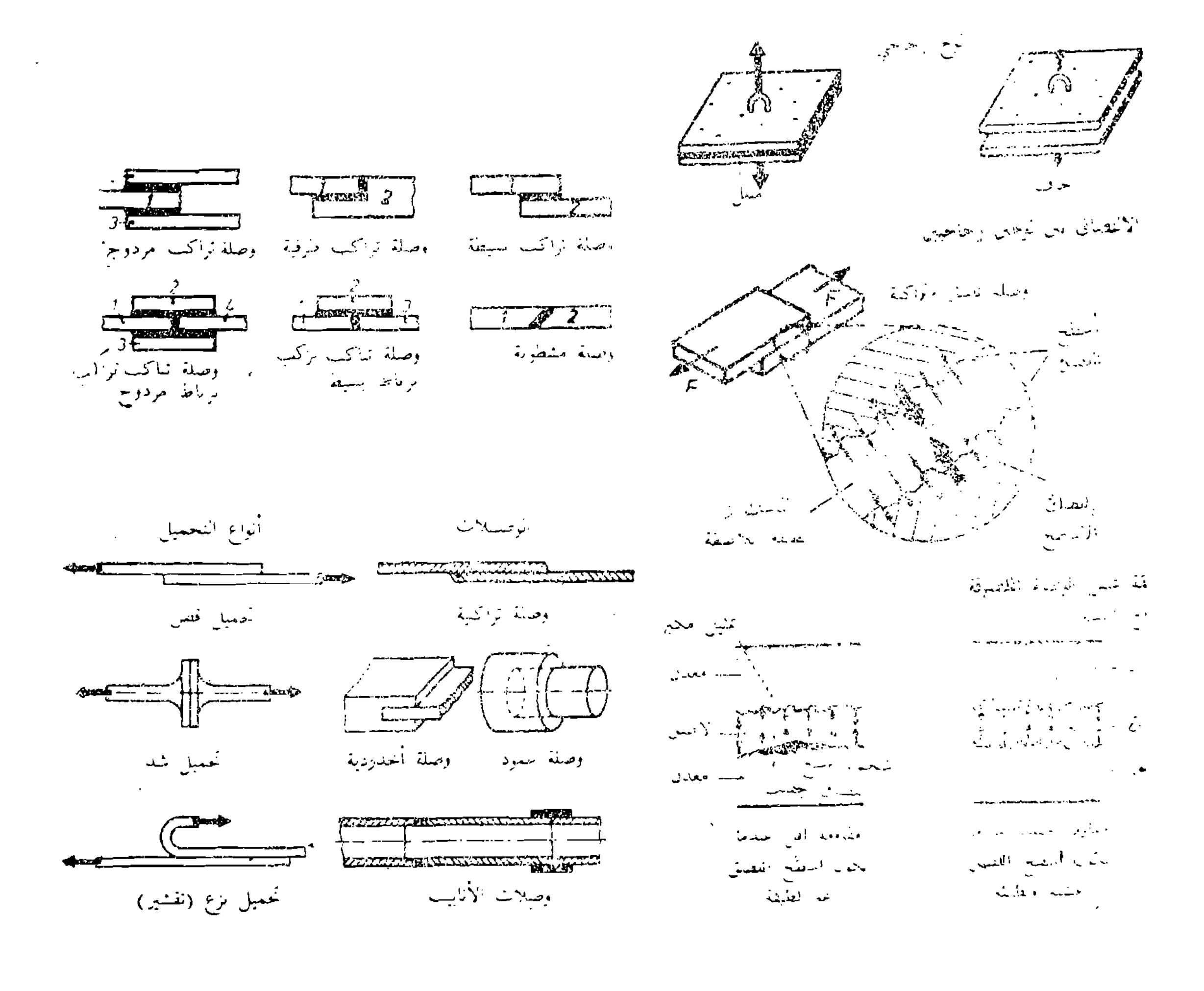
٣-٤-٤- طريقة اللصق :

المعالجة الأولية : يجب تنظيف أسطح اللصق بعناية كبيرة لكى تصبح خالية من الأوساخ والمواد الدهنية وذلك حتى يمكن لجزيئات اللاصق أن تصل إلى المادة ، ويتم علاوة على ذلك تخشين الأسطح بالسنفرة أو بالسفع بالرمل أو بالتنميش (الكيميائى) وذلك لزيادة مساحة أسطح الالتصاق .

عملية اللصق : تتطلب الوصلة الملصوقة ارتكازًا جيدًا للأجزاء بعضها على بعض ، ويطلى سطحها الوصلة باللاصق والمصلد فى حالة الأسطح الخشنة ، أما فى حالة الأسطح الملساء فيكفى طلاء أحد السطحين المتقابلين ، ويجب أن يقع سمك الطبقة الاصقة بين 25µm و 100µm . ولا يجوز زحزحة أجزاء الوصلة بعضها على البعض حتى تمام تصلدها ، ولا يلزم ضغط الأجزاء عند لصقها براتينجات الإبوكسيد ، بل يكتفى بضغط الإرتكاز (ضغط التلامس) فقط .

٣ - ٤ - ٥ أنواع الوصلات الملصوقة وتحميلها :

يمثل الشكل الأنواع الهامة من الوصلات الملصقة ، وتبلغ القيم المتوسطة لمقاومة إجهاد القص نحو $2400\ N/cm^2$ ، ولإجهاد الشد $7000\ N/cm^2$ ، ولإجهاد الحنى $7200\ N/cm^2$ وتكون الوصلات الملصقة مقاومة للحرارة حتى 200°C .



شكل (٣-٣٥) تأثير اللصق المعادن

شكل (٣-٣٦) أنواع وصلات اللصق

التغذية (S) ووحدتها mm\rev وهى مقدار السرعة الخطية أو انتقال الحد القاطع خلال دوران المشغولة دورة واحدة ويمكن أن تكون التغذية فى اتجاه موازى لمحور المشغولة Longttudinal Feed أو عمودية على محور المشغولة Radial Feed كما يمكن أيضًا أن تكون مائلة Inclined Feed على محور المشغولة فى حالة خراطة سطح مخروطى .

عمق القطع (a) Depth of Cut وهو تخانة الطبقة المنزوعة من المعدن خلال شوط واحد من الأشواط القطع وتساوى $a = \frac{D_1 - D_2}{2}$

حيث أن D_1 قطر المشغولة قبل القطع بوحدات (mm)

D2 قطر المشغولة بعد القطع بوحدات (m.m) .

٤ - ٦ - المكنات الأساسية للتشغيل

٤-٦-١- ماكينة المخرطة Lathe Machine

تقوم مكنة المخرطة بالتشغيل الألى للأسطح الدورانية وتمارس قوى القطع على المشغولة كما يمكن بواسطتها التحكم فى عمليات القطع ونتائجها . وجودة السطح المنتج ويمكن أيضًا القيام بمجموعة كبيرة من العمليات الأساسية على المخرطة .

وتقوم الماكينة بتسليط أداة القطع (قلم القطع) على المشغولة ويتغلغل القلم مسافة بالمشغولة تسمى عمق القطع ثم تقوم بتحريك أداة القطع بمعدل ثابت يمثل حركة التغذية وبالتالى يخرج الرايش من المشغولة وتصبح المشغولة اسطوانية الشكل شكل (٤-١٩) .

شكل (٤-٢٠) يوضح الأجزاء الرئيسية لماكينة المخرطة .

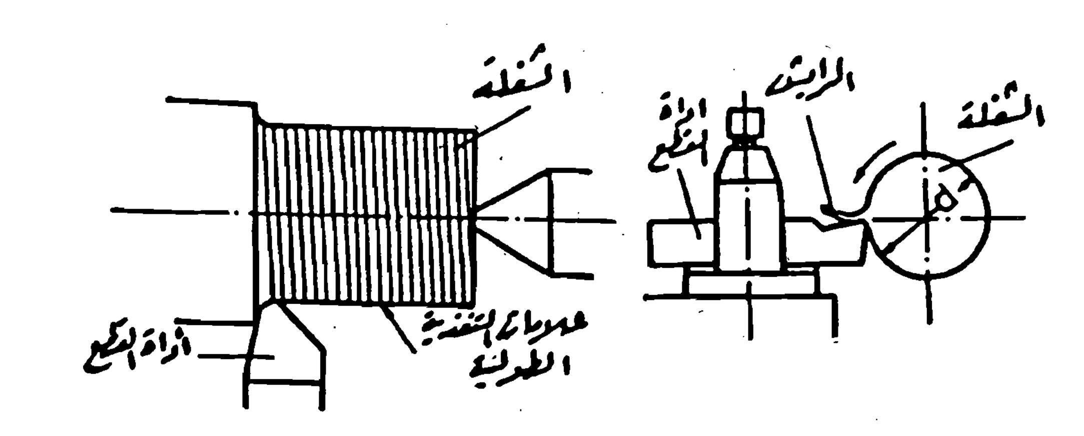
ويمكن القطع على الماكينة بواسطة أقلام قطع يمين أو شمال انظر شكل (٤-٢١) .

ويمكن تثبيت الشغلة على المخرطة بعدة طرق منها :

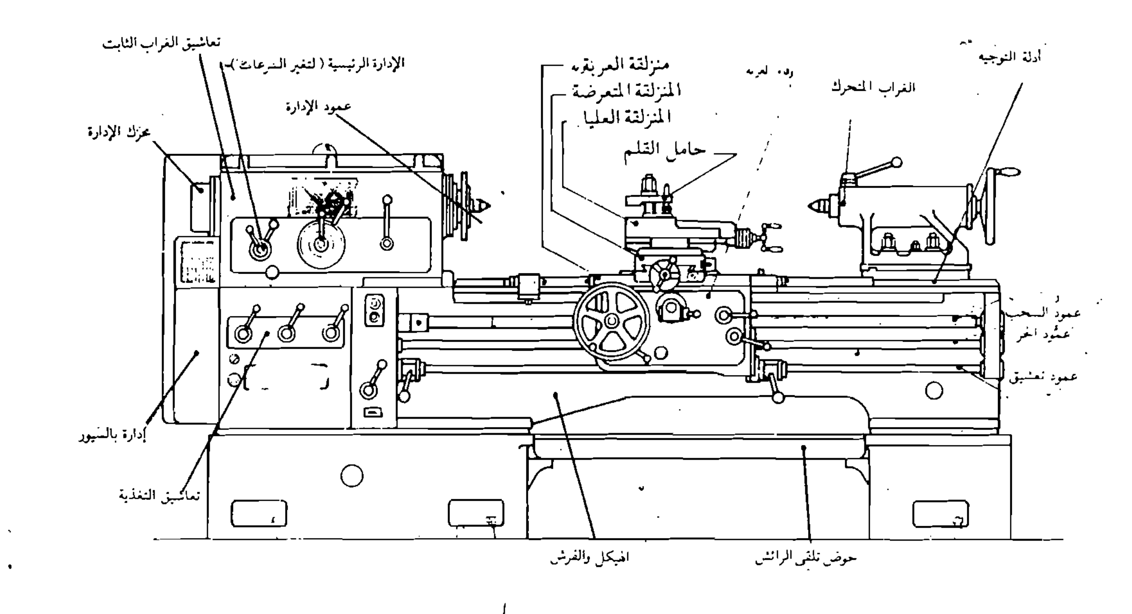
١ - ارتكازها على زنبتين (مركزين) فى طرفيها .

٢ - على الظرف سواء ذو ثلاث لقم أو ذو أربع لقم Three Jaw Chuck or four Jaw Chuck انظر شكل (٤-٢٢) والظروف ذو الأربع لقم يمكن تثبيت المشغولات ذات الشكل الخارجى غير المتماثل .

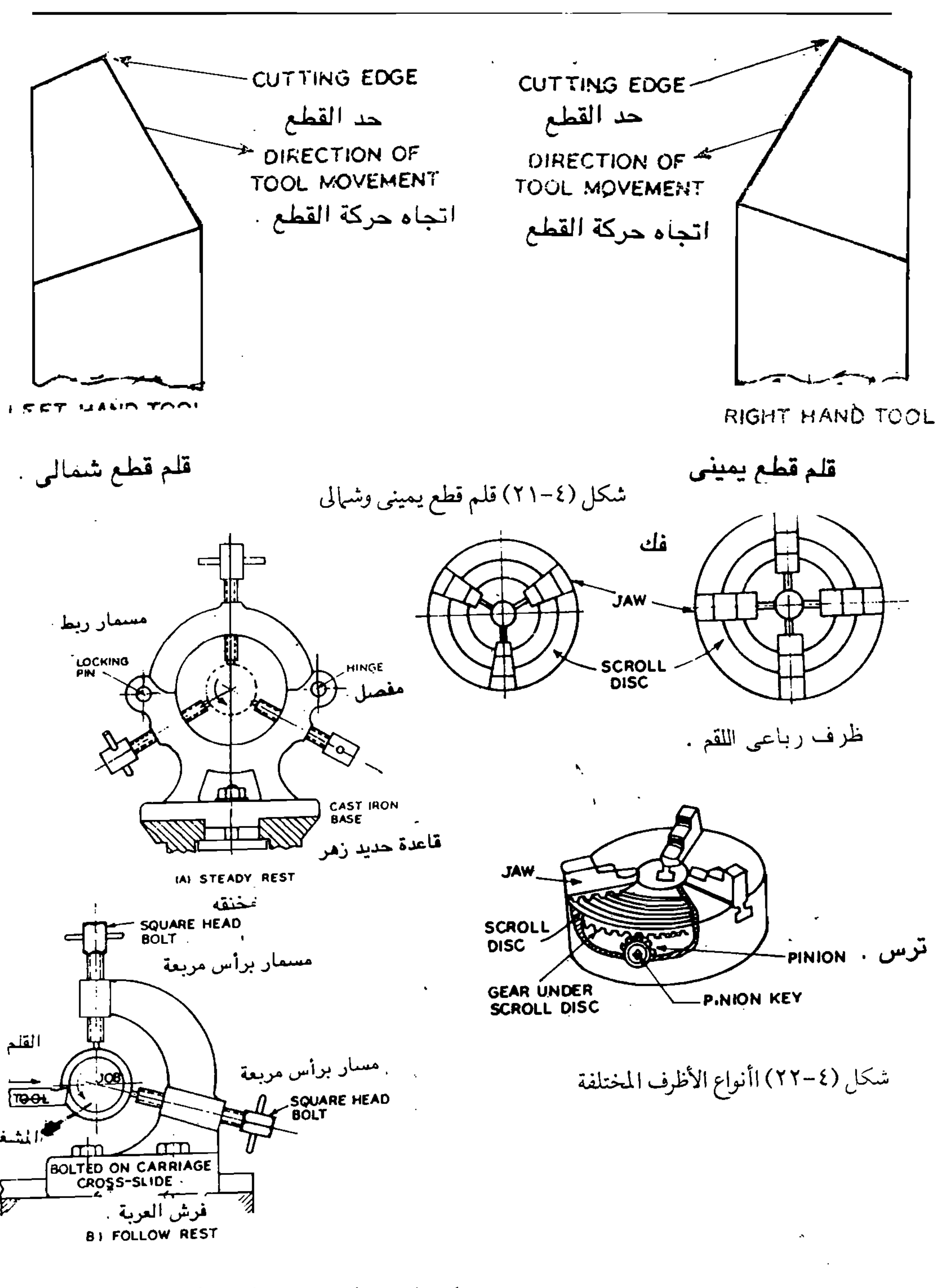
٣ - المشغولات الطويلة التى قد تنحنى تحت قوى القطع يمكن أن يستعمل أيضًا المخانق الثابتة Steady أو المتحركة Follow Rest أنظر شكل (٤-٢٣) .



شكل (٤-١٩) تشغيل الأسطح الدورانية



شكل (٤-٢٠) مخرطة المعادن



شكل (٤-٢١) قلم قطع يمينى وشمالى

شكل (٤-٢٢) أنواع الأظرف المختلفة

شكل (٤-٢٣) استخدام المخنقة فى تثبيت المشغولات

٤ - تثبيت الشغلة على صينية المخرطة .

٥ - التثبيت بواسطة الظرف المغنطيسى فى حالة المشغولات الرفيعة .

بعض العمليات التى يمكن القيام بها على المخرطة :

٤-٦-١-١- خراطة عدله انظر شكل (٤-٢٤) Straight Turning

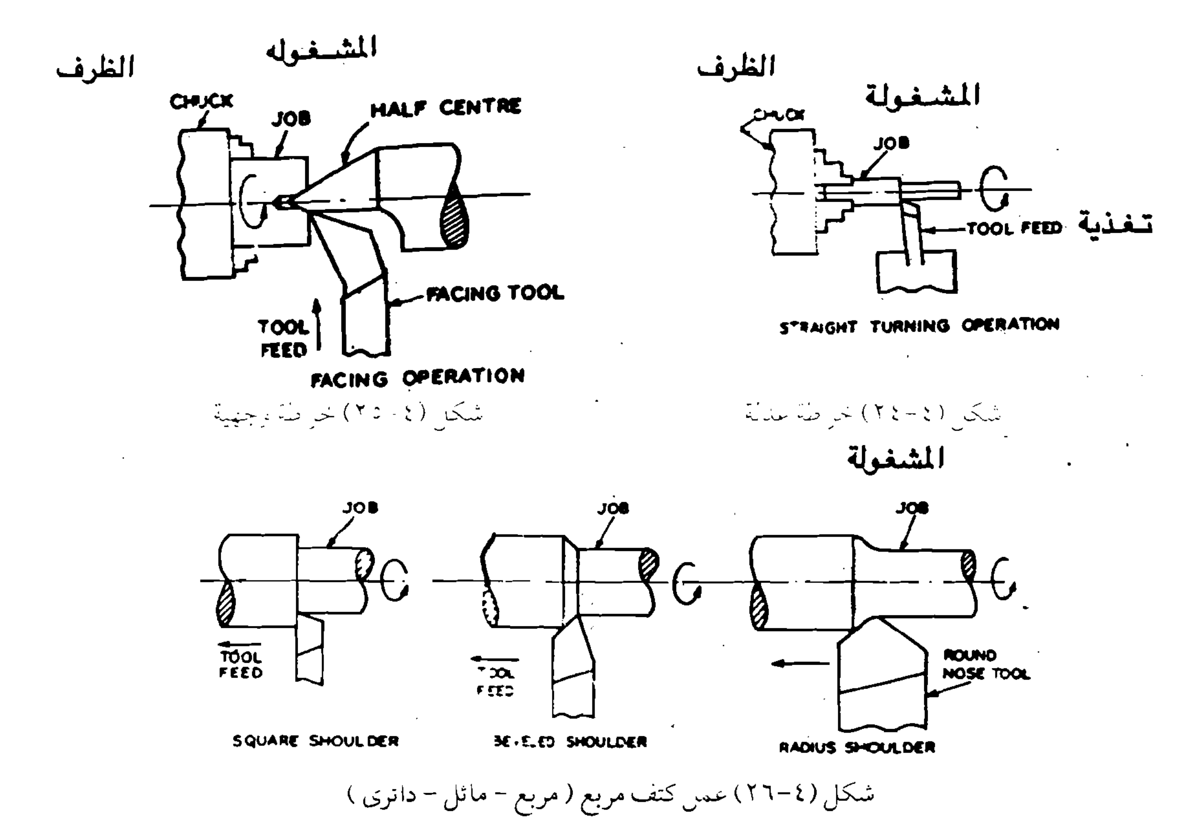
يمكن بهذه العملية الحصول على الشكل اسطوانى بواسطة قلم قطع المخرطة الذى يقوم بالتغلغل ونزع المعدن الزائد . بحركة قلم قطع موازية لمحور المشغولة .

٤-٦-١-٢- خراطة وجهة أنظر شكل (٤-٢٥) Facing Operation

ويمكن بهذه العملية الحصول على سطح مستوى فى نهاية طرفى الشغلة بحركة قلم عمودية على محور المشغولة .

٤-٦-١-٣- خراطة كتف أنظرر شكل (٤-٢٦) Shoulder Turning

ويمكن بهذه العملية الحصول على سطح أقطار مختلفة على نفس المنتج ويمكن الحصول على عدة أشكال لها التدرج فى القطر كما بالشكل . (دائرى - مائل - مربع) .



شكل (٤-٢٥) خراطة وجهية

شكل (٤-٢٤) خراطة عدلية

شكل (٤-٢٦) عمل كتف مربع (مربع - مائل - دائرى)

٤-٦-١-٤- الثقب أنظر الشكل (٤-٢٧) Drilling

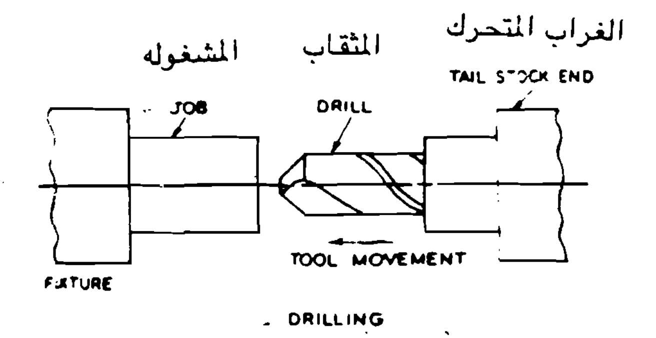
يمكن القيام بعملية ثقب على ماكينة المخرطة بواسطة بنطة الثقب التى تثبت على الغراب المتحرك .

٤-٦-١-٥- توسيع ثقب أنظر الشكل (٤-٢٨) Boring

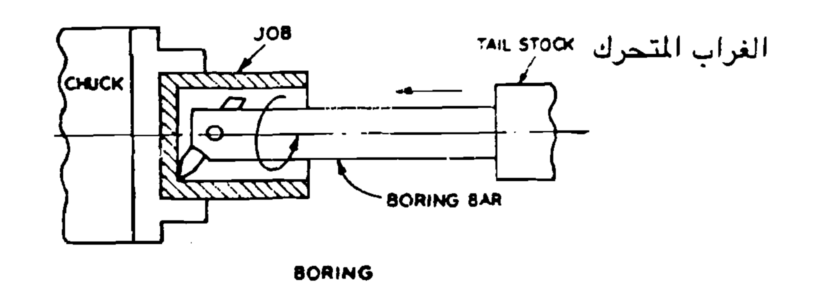
يمكن بواسطة هذه العملية الحصول على ثقب أكبر بواسطة عملية الخراطة الداخلية للثقب .

٤-٦-١-٦- عملية الفصل أنظر الشكل (٤-٢٩) Partting Off

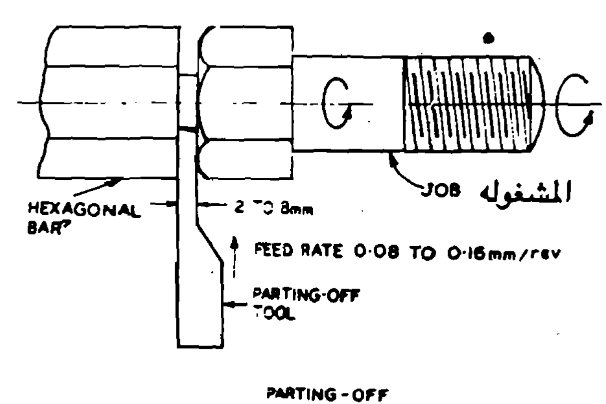
بهذه العملية يمكن فصل (قطع) المنتج بعد تشغيله إلى الشكل المراد الحصول عليه والتغذية فى اتجاه عمودى على محور الشغلة .



شكل (٤-٢٧) ثقب على المخرطة



شكل (٤-٢٨) خراطة داخلية (توسيع ثقب)



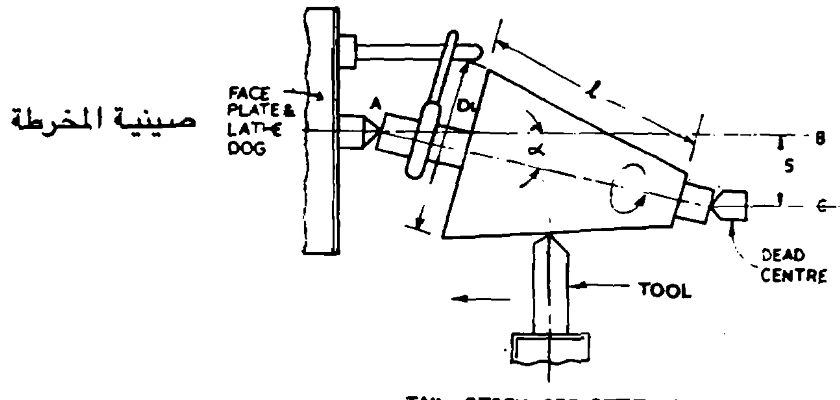
شكل (٤-٢٩) فصل (قطع)

٤-٦-١-٧- عمل مخروط (السالبة)أنظر الشكل (٤-٣٠) Taper Turning

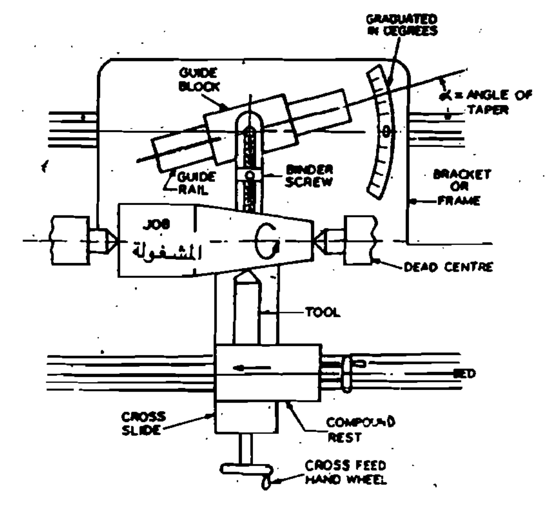
يمكن بهذه العملية الحصول على شكل مخروطى (سطح مستدق) بواسطة ماكينة المخرطة وهناك وسائل متعددة للحصول على هذا المخروط أنظر أشكال (٤-٣٠ إلى ٤-٣٣) .

٤-٦-١-٨ - قطع اللولب على المخرطة أنظر شكل (٤-٣٤) Thread Cutting in lathes

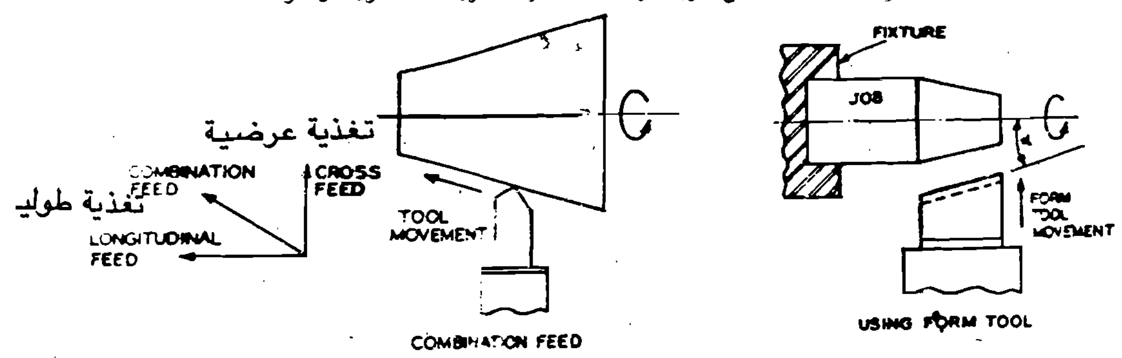
ويتم ذلك بإعطاء أداة القطع حركـة خطية منتظمة ومرتبطة بدوران المشغـولة أى بتحرك ثـابت لمسافـة معينة تسمى الخطـوة لكل دوزة من دورات المشغـولة ويتحقق ذلك عن طـريق عمود ملولب يسمى العمود المرشد الذى يقود العربة بحركة خطية ويتلقى هو حركته الدورانية من عمود المخرطة الذى يدير المشغولة أنظر شكل (٤-٣٥) . ويمكن التحكم فى علاقة حركة العمود المرشد بحركة عمود المخرطة وتغيير هـذه العلاقة لتغيير خطوة اللولب المطلوب قطعه .



شكل (٤-٣٠) تشغيل مخروط للمخروطات الطويلة



شكل (٤-٣١) تشغيل مخروط بواسطة مسطرة المخروطات الطويلة والمتوسطة

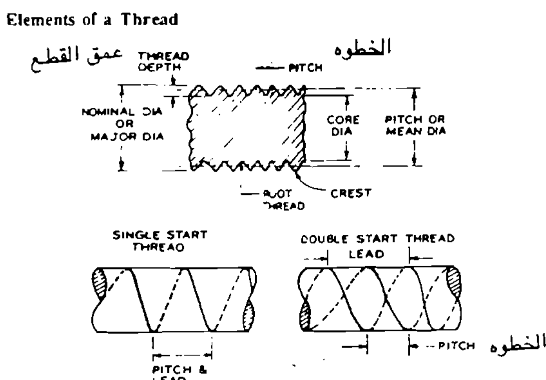


شكل (٤-٣٣) تشغيل مخروط بواسطة الحركة المزدوجة للتغذية الطولية والعرضية بواسطة الراسمة الصغرى للمخروطات متوسطة الطول

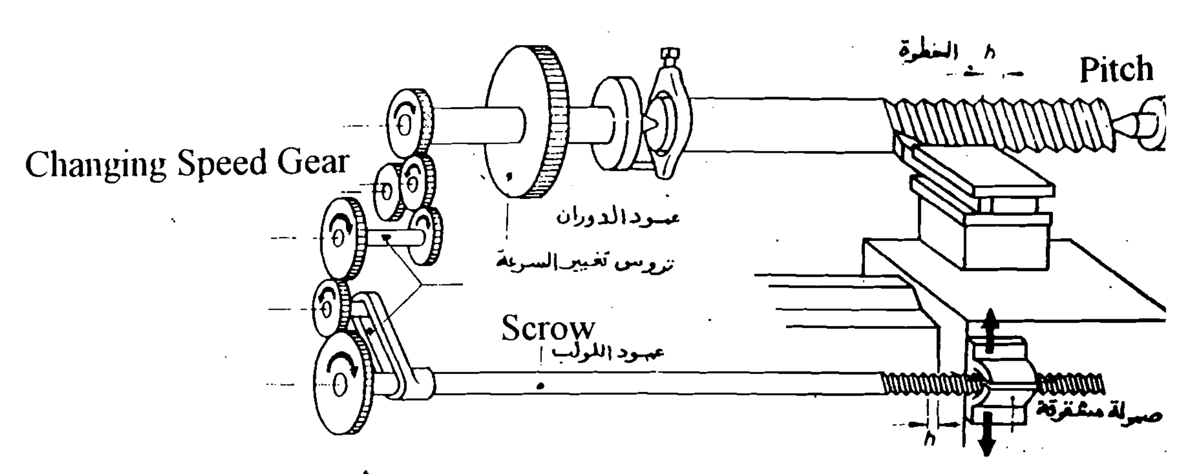
شحل (٤-٣٢) تشغيل مخروط قصير الطول بواسطة قلم فورمة

THREAD CUTTING IN LATHE

Elements of a Thread



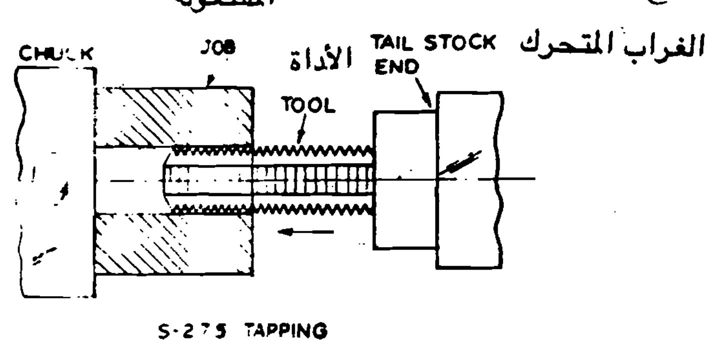
شكل (٤-٣٤) قطع لولب قلاووظ على المخرطة



شكل (٤-٣٥) تنقل الحركة الدورانية لعمود الدوران إلى حركة خطية لأداة قطع اللولب

وكما يمكن قطع لـولـب على أسطح خـارجيـة مثل المسامير ويمكن قطـع لـولب على أسطح داخلية مثل الصـواميل والجلب . ويتوقف شكل مقطع اللـولب على شكل الحد القاطع . فإذا كان الحد القـاطع مثلثًا كان مقطع اللولب مثلثـًا وإذا كان شكل الحد مربعًا كـان الحد القاطع مربعًا وهكذا .

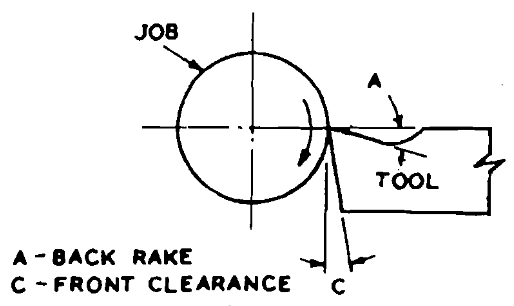
٤-٦-١-٩- عمل لـولب داخلي بـواسطـة ذكـر القـلاووظ Tapping انظـــر شكل (٤-٣٦) ويمكن بواسطـة هذه العملية استخـدام طاقم القـلاووظ لعمل داخلي بتثبيت ذكـر القلاووظ فى موضع الغـراب المتحرك .



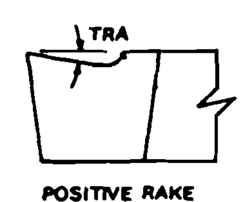
شكل (٤-٣٦) لولب داخلي بواسطة ذكر القلاووظ

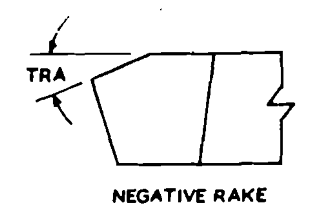
كما سبق ذكـره وجود زوايا القطع وهـى الخلوص (α) والجرف (γ) هام فى عمليـة القطع شكل (٤-٣٧) يوضح زاوية الخلوص والجرف أثناء عملية الخراطة .

ويمكن لزوايـا الجرف أن تأخذ قيم مختلفة سالبـة أو موجبة أو تكون صفرًا ويـوضح هذا شكل (٤-٣٨) .



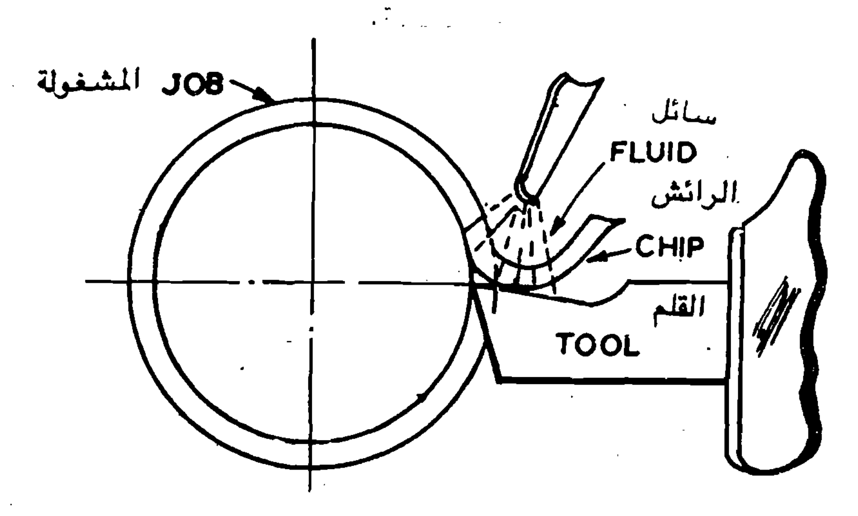
شكل (٤-٣٧)زاوية الخلوص (α) والجرف (γ) أثناء عملية الخراطة





شكل (٤-٣٨)زوايا الجرف (موجبة أو سالبة)

TRA-TOP RAKE ANGLE



FLOW OF CUTTING FLUID

شكل (٤-٣٩) سوائل التبريد أثناء القطع

استخدام سوائل التبريد أثناء القطع انظر شكل (٤-٣٩) Cuttig fluids

إن من المعلوم أن ترتفع درجة حرارة المشغولة والقلم أثناء القطع نتيجة الاحتكاك بينهما مما يؤثر على عملية القطع تأثيرًا سلبيًا ولهذا نستخدم فى كثير من الأحيان سوائل تبريد تقوم بوظيفتين أساسيتين هما التبريد والتزييت . التبريد لأداة القطع حيث تقوم بنزع الحرارة من

المشغولة وأداة القطع التزليق لأداة القطع والشغلة مما يؤدى إلى اقلال قوى القطع بين الشغلة وأداة القطع مما يطيل من عمر أداة القطع مما يؤدى إلى زيادة فترة إعادة سن أداة القطع واقلال قوى القطع يؤدى إلى إقلال القدرة اللازمة للقطع ويساعد على زيادة سرعة القطع وكل ما سبق يساعد على جودة السطح المشغل ودقة الابعاد المنتجة وتوجد عدة أنواع من سوائل التبريد التى تستخدم فى عملية القطع .

٤-٦-١-١٠- حساب زمن التشغيل بالخراطة

فى حالة خراطة عمود أو منتج معين ومطلوب حساب زمن التشغيل يجب أن تتوافر المعلومات الآتية :

١ – طول المشغولة ووحداتها (m.m) =L

٢ – سرعة الدوران = N ووحداتها دورة / دقيقة r.p.m

٣ – التغذية = S ووحداتها مم/ دورة mm\rev

ويمكن حساب زمن التشغيل من العلاقة

$$Tm = L \setminus S.N$$

وتوجد حالتين لخرطة جزء وهى التنعيم والتخشين والمقصود بالتنعيم الحصول على سطح ناعم (∇∇)

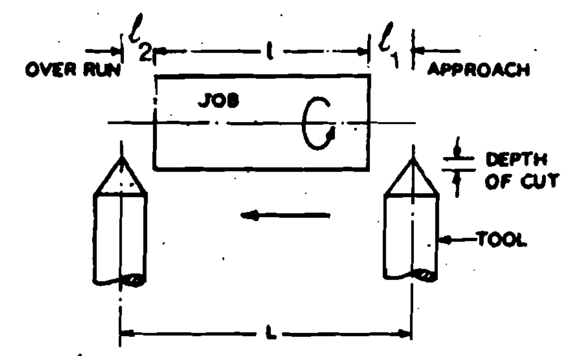
والتخشين الحصول على سطح خشن (∇)

وقيمة لكل حالة منها تختلف عن الأخرى .

مثال انظر شكل (٤-٤٠) :

١ – المراد تشغيل عمود من صلب st 37 قطرة = ٥٠ مم قطره مم إلى قطر وطوله ١٠٠ مم على المخرطة والمطلوب حساب زمن التشغيل مع العلم أن جودة السطح المطلوب ناعم (∇∇)

للتنعيم	**للتخشين**
سرعة القطع = v = 60 m/min	v = 45 m/min =
التغذية = 0.1 mm \ rev	0.5 mm \ rev =



شكل (٤-٤٠) مسافة اقتراب وابتعاد القلم عن المشغولة أثناء القطع

الحـــــل

عمق القطع depth of cut=(القطر النهائى- القطر الابتدائى) 2\

(m m) 5=2÷(50-40) =

ويخرط هذا العمق على مرحلتين المرحلة الأولى تخشين والثانية تنعيم .

Depth of cut = 5=2 (2.25) + 1(0.5)

حيث أن (2) هنا تمثل عدد أشواط التخشين .

حيث أن (1) هنا تمثل عدد أشواط التنعيم ولا يجب أن تزيد عن واحد .

للتخشين = حيث أن $V = \frac{\pi DN}{1000}$

$$N= \frac{1000 X 45}{\pi X 50} = 286 \text{ r.p.m}$$

أفرض أن مسافة اقتراب القلم من الشغلة $=l_1$ ومسافة ابتعاد القلم عن الشغلة l_2 وأن

$5 \text{ (mm)} = l_1=l_2$

$$\text{Tm}= \frac{L}{S.n} = \frac{l_1+l+l_2}{s..n} = \frac{l_1+100+l_2}{0.5X286} = \text{زمن التخشين}$$

$$\frac{110}{0.5X286} = 0.76 \text{ min}$$

زمن التخشين الكلى = زمن تشغيل شوط واحد × عدد الأشواط

154 min = 2 0x0.76 =

ولحساب زمن التنعيم

$$V = \frac{\pi DN}{1000} = 60$$ للتنعيم

$$N = \frac{1000X3}{\pi D} = \frac{6000}{\pi X 43} =$$

466 r.p.m

$$\text{زمن التنعيم} = \frac{L}{S.n} = \frac{110}{0.1X466} = 2.36 \text{ min}$$

زمن التشغيل الكلى = زمن التخشين + زمن التنعيم

$$= 2.36+0.76 = 3.12\text{min}$$

٤-٧- مكنات الثقب (الثقابات) Drilling Machines

تستعمل البنطة (Twist Drill) فى ثقب الثقوب وعمل التجاويف لرؤس المسامير ويمكن تثبيت البنطة على مكنة المثقاب التى يمكنها إدارة البنطة وتثبيت المشغولة .

والبنطة هى أهم أدوات قطع الثقب انظر شكل (٤-٤١) .

والمثقابات أنواع هى :

١ - مثقاب التزجه Bench Drill

٢ - مثقاب الشجرة Upright Drill .

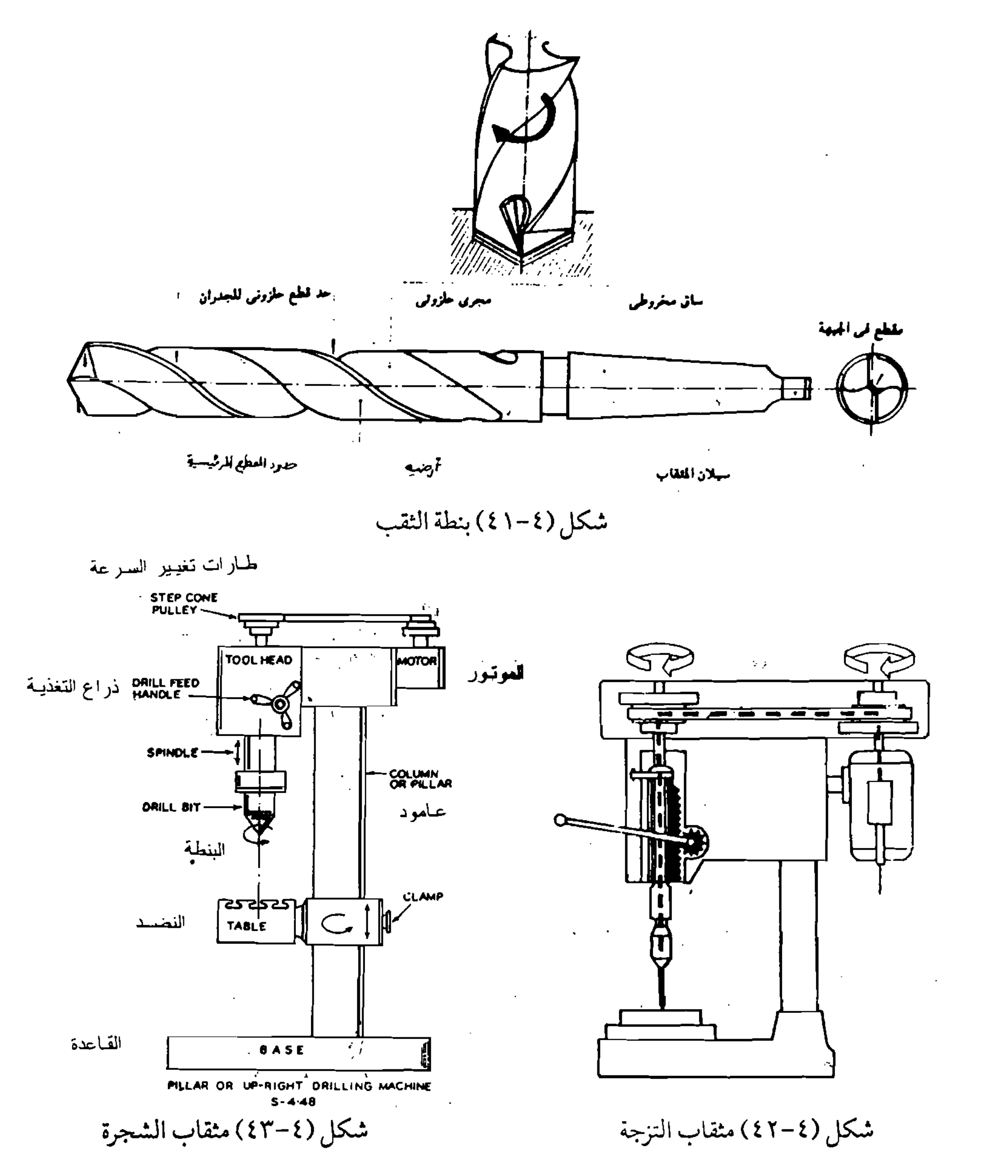
٣ - مثقاب الدف Radial Drill

٤-٧-١- مثقاب التزجه أنظر شكل (٤-٤٢) Bench Drill

مثقاب صغير يمكن وضعه على تزجه بالورشة ويقوم بعمل المشغولات الخفيفة الوزن وعدد الثقوب القليل وقدرته محدودة .

٤-٧-٢- مثقاب الشجرة أنظر الشكل (٤-٤٣) Upright Drill

وتتكون من قائم رأس يمكن تحريك نضد المشغولة عليه إلى أعلى وأسفل وذلك لتثبيت المشغولات الطويلة ويمكن أيضًا عمل تغذية أتوماتيكية على المثقاب للبنطة بالإضافة إلى ذلك يمكن تحريك نضد المشغولة فى اتجاه دائرى ليتناسب مع كثير من المشغولات .



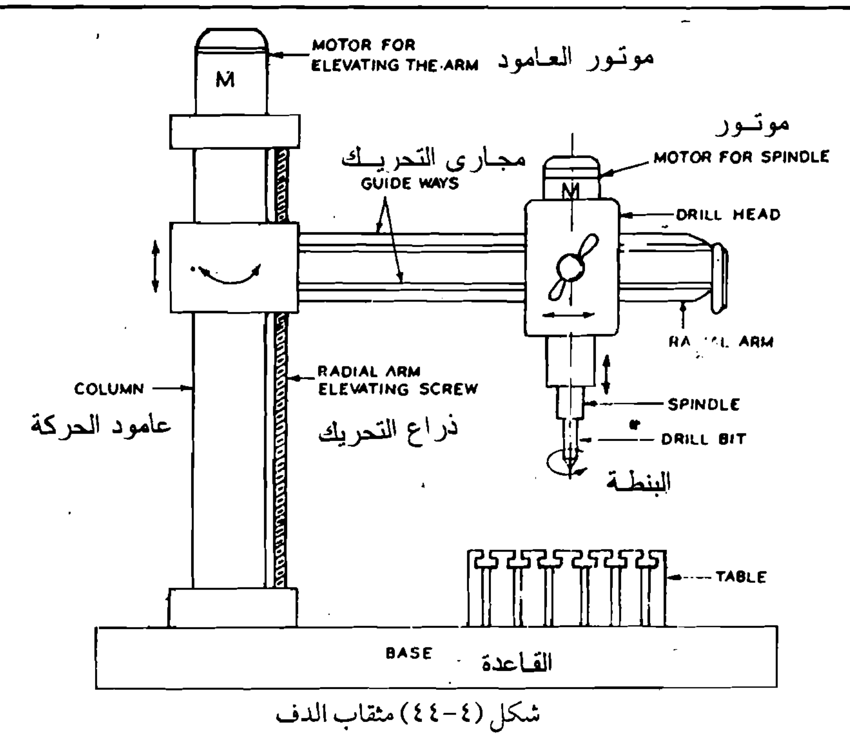
شكل (٤-٤١) بنطة الثقب

شكل (٤-٤٣) مثقاب الشجرة

شكل (٤-٤٢) مثقاب التزجة

٤-٧-٣- مثقاب الدف أنظر الشكل (٤-٤٤) Radial Drill

ويمكن بهذا المثقاب عمل المشغولات الكبيرة وثقيلة الوزن دون الحاجة إلى رفعها بالإضافة إلى ذلك تقوم البنطة بالحركة حتى مكان الثقب دون الحاجة إلى إعادة تحريك المشغولة . ويمكن عمل تغذية أتوماتيكية مع هذا المثقاب .

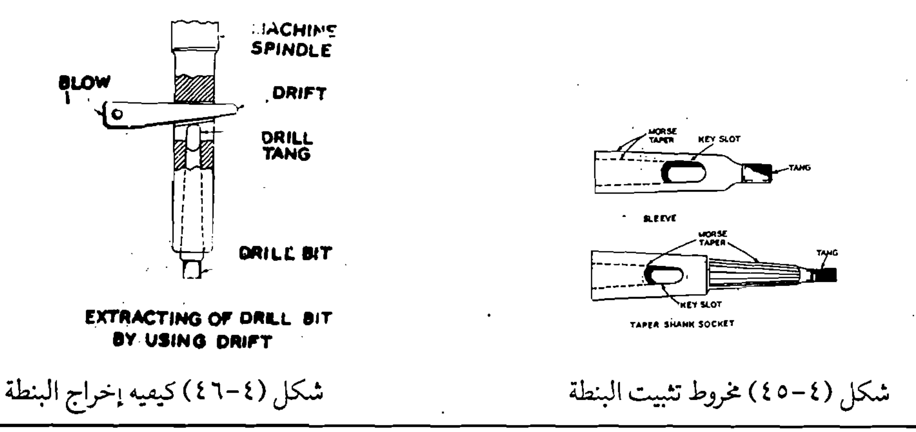


شكل (٤-٤٤) مثقاب الدف

تثبيت بنط الثقب أنظر شكل (٤-٤٥) Tool Holding Devices

يمكن تثبيت البنطة بواسطة سلبية موريس حيث أن بنطة الثقب لها مخروط له درجة مساوية للسلبية (رقم) الموجودة فى عمود المكنة (رقم عامود السكينة) وفى حالة اختلاف الدرجات يمكن الاستعانة بسلبية لها درجتان للميل (رقمان) إحداهما للبنطة والأخرى لعامود الماكينة.

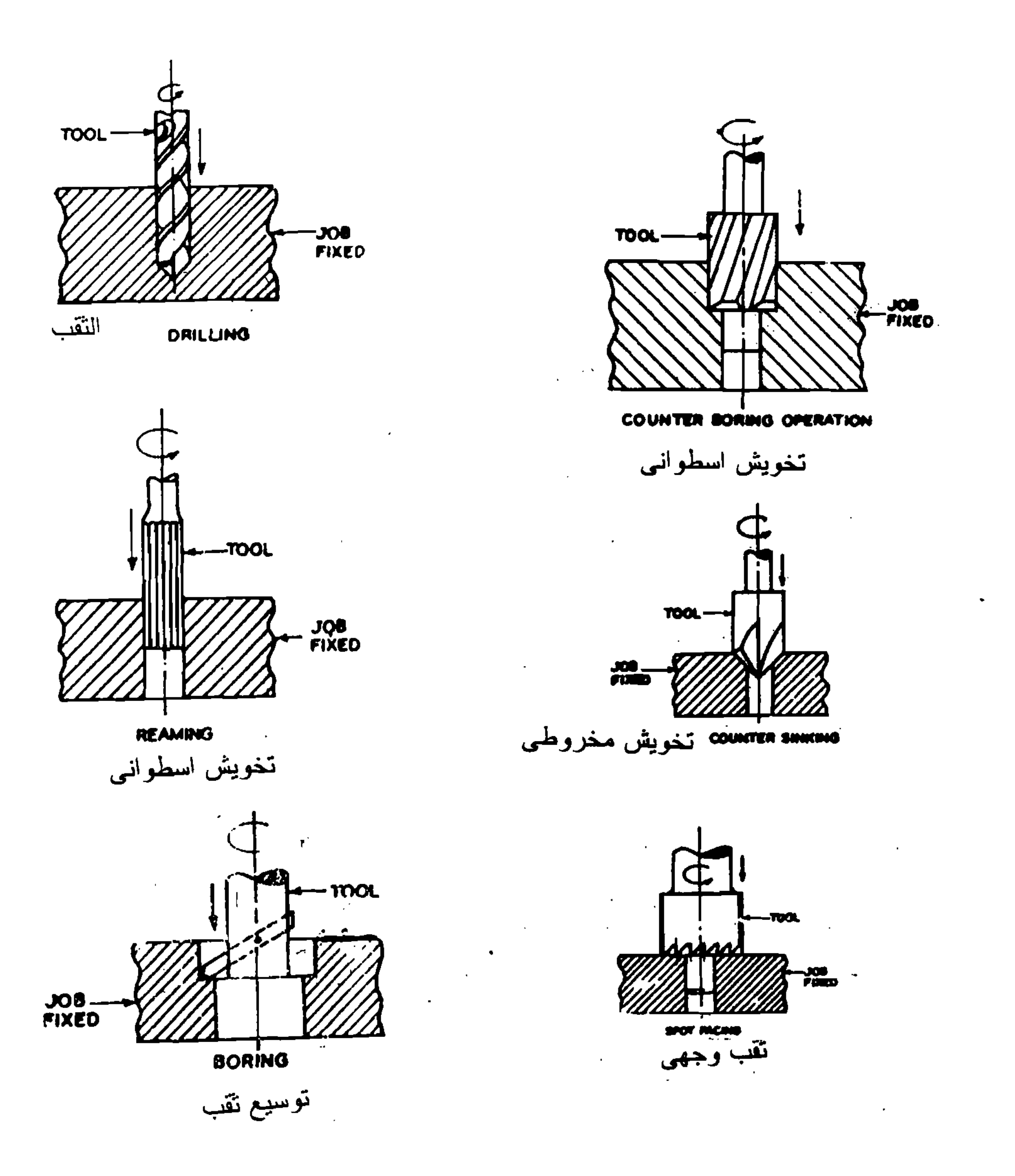
وشكل (٤-٤٦) يبين كيفية إخراج البنطة من عامود المكنة.



شكل (٤-٤٦) كيفيه إخراج البنطة

شكل (٤-٤٥) مخروط تثبيت البنطة

العمليات التى يمكن القيام بها على المثقاب متعددة وكثيرة أنظر شكل (٤-٤٧) .



شكل (٤-٤٧) العمليات التى تتم على المثقاب

٤-٧-٤- حساب زمن التشغيل بالمثقاب .

يمكن حساب زمن التشغيل من العلاقة

$$Tm \text{ (زمن التشغيل)} = \frac{l}{S.N}$$

حيث أن

l = المسافة الكلية التى تتحركها البنطة

$= l + l1 + l2 + l3$

l = عمق الثقب

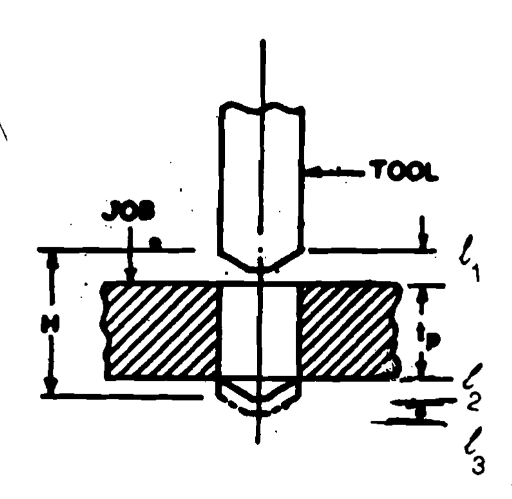
$l1$ = مسافة إقتراب البنطة من المشغولة .

$l2$ = ٠,٣ × قطر البنطة .

$l3$ = مسافة تجاوز البنطة لطول الثقب .

S = التغذية بوحدات m.m/rev

N = عدد دورات البنطة r.p.m



شكل (٤-٤٧') زمن التشغيل بالمثقاب

مثال : احسب زمن التشغيل اللازم لعمل ثقب قطره ١٢مم وعمقه = ٤٠مم إذا كانت التغذية S=0.3 mm

وسرعة الدوران = 400 rpm

الحـــل

افرض $l1 = l3 = 2$ (m.m)

$$\text{(زمن التشغيل)} \ Tm = \frac{l}{S.N}$$

$$= \frac{40 + 2 + (0.3X12) + 2}{0.3X400} = \frac{47.6}{120}$$

$$= 0.39 \text{ min}$$

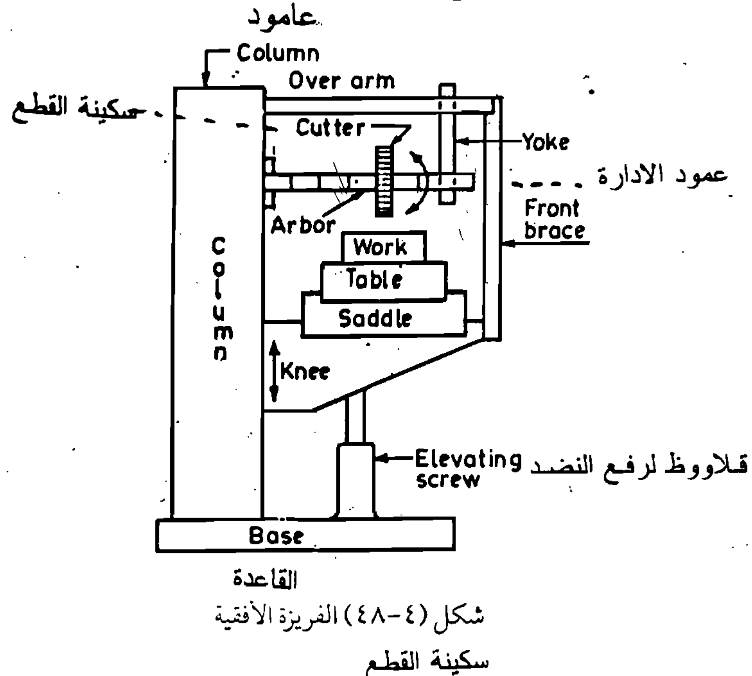
٤-٨- ماكنات التفريز(الفرايز) Milling Machines

تنقسم الفرايز إلى ثلاث أنـواع رئيسية هى الفريزة الأفقية والرأسية والعامـة وتوجد أنواع أخرى خاصة لقطع التروس .

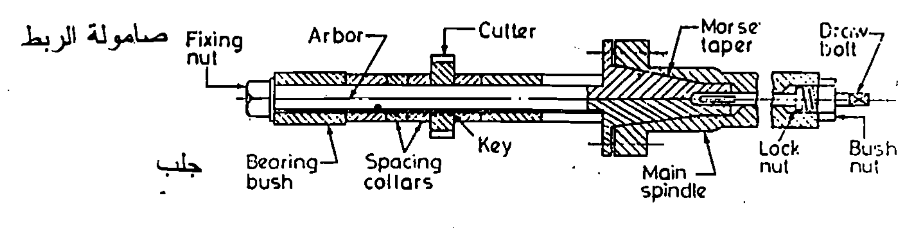
والفريزة من الماكينات الهامة بالورشة التى تتميز بأن سكينة القطع بها (سكينة الفريزة) لها عدة حدود قاطعة يمكنها من إنتاج مشغولة ذات سطح ناعم . ومعدل إزالة الريش هنا كبير .

٤-٨-١- الفريزة الأفقية : Horizontal Milling Machine أنظر الشكل (٤-٤٨) .

ويمكن تحريك النضـد الخاص بـالماكينـــة إلى أعلى وأسفل حسب ارتفـاع الشغلـة بينما تتحرك السكينة فى محور الدوران الفقى . وتثبت الشغلة فى موضعها بواسطة مجموعة من الجلب ويمكن بواسطة هذه الجلب تغير موضع السكينة على محور الماكينة أنظر شكل (٤-٤٩) .



شكل (٤-٤٨) الفريزة الأفقية



شكل (٤-٤٩) تركيبة السكينة على عامود الدوران

٤-٨-٢- **الفريزة الرأسية : Vertical Milling Machine** أنظر شكل (٤-٥٠) .

وهى تشبـه إلى حد كبير الأفقيـة ما عـدا أن محور دوران السكينة رأسى . وتثبيت الشغلـة على نضد الفريزة بواسطة المناجل .

بعض العمليات التى يمكن أن تتم على الفريزة أنظر شكل (٤-٥١) .

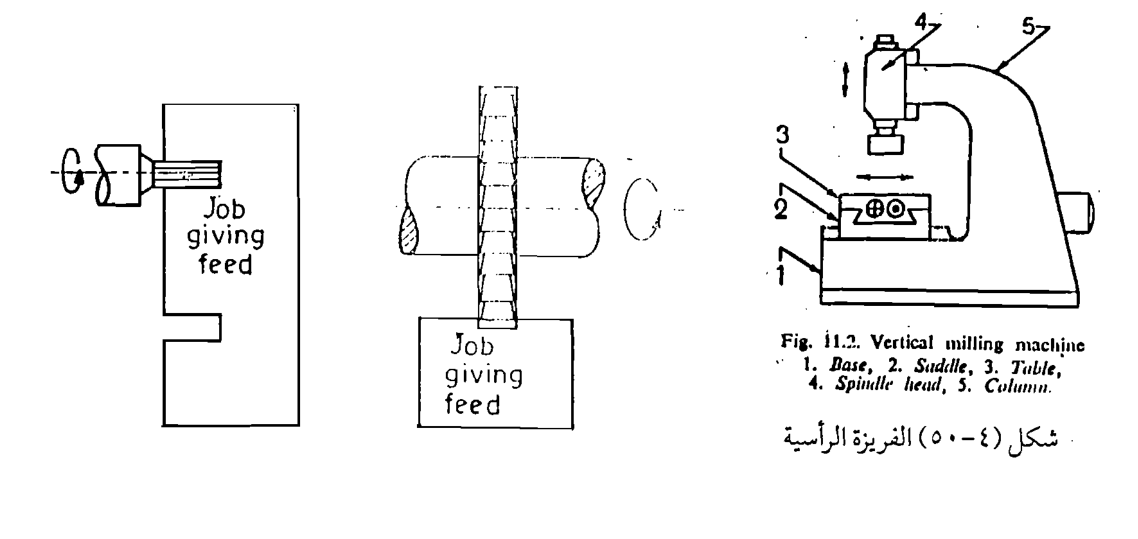
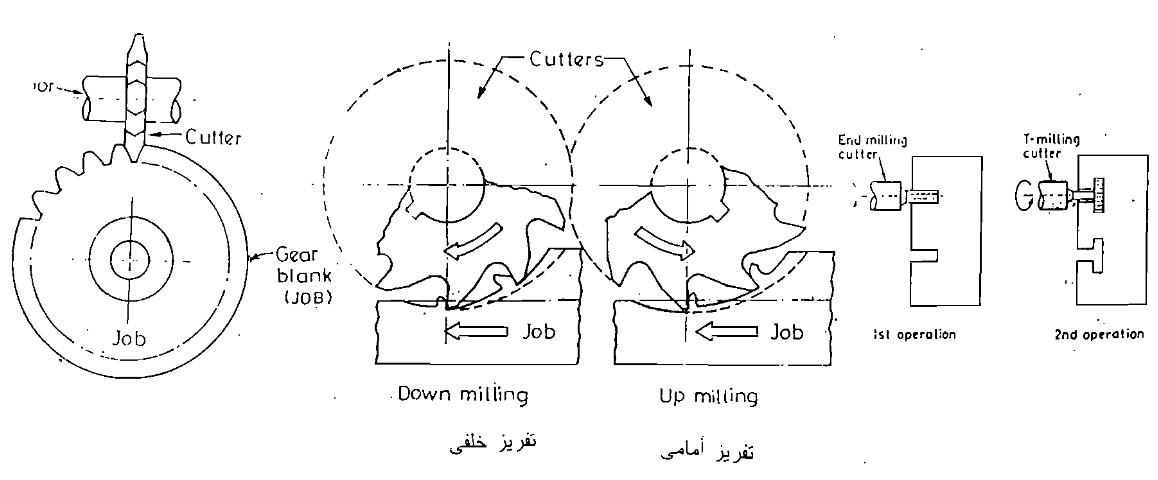
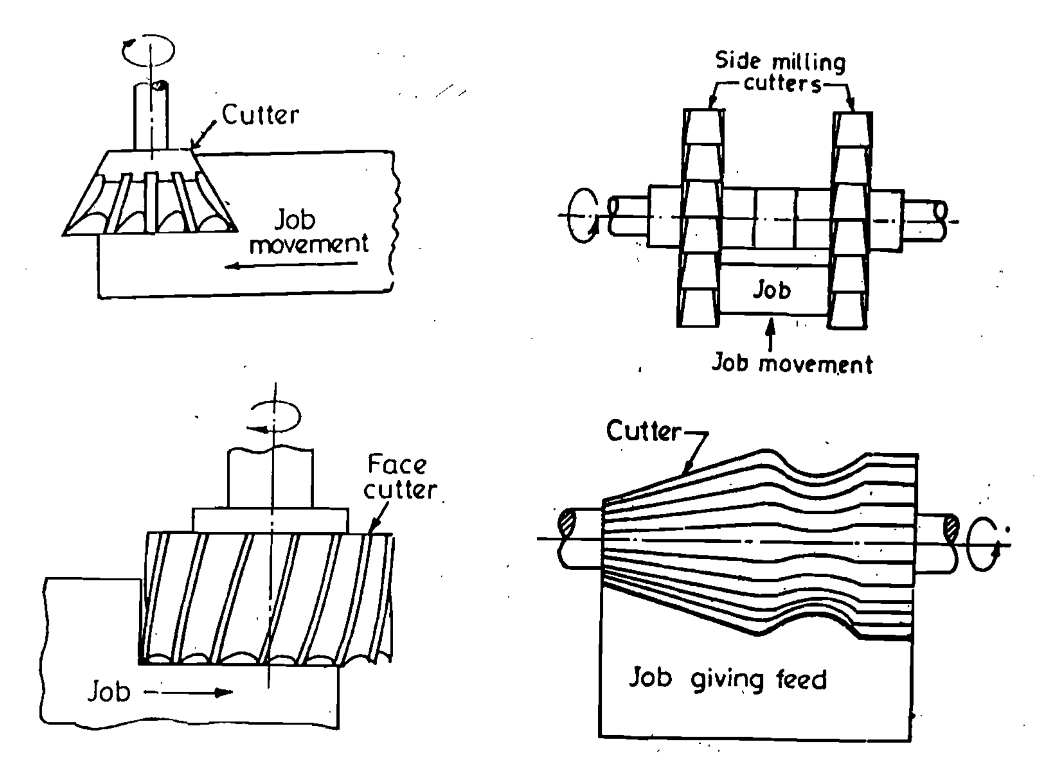


Fig. 11.2. Vertical milling machine
1. Base, 2. Saddle, 3. Table, 4. Spindle head, 5. Column.

شكل (٤-٥٠) الفريزة الرأسية

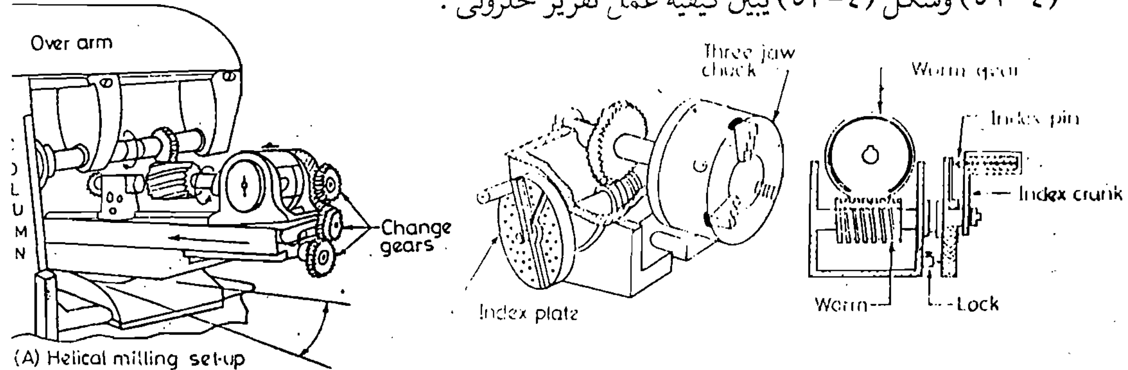


شكل (٤-٥١) العمليات التى يمكن القيام بها على الفرايز



تابع شكل (٤-٥١) العمليات التى يمكن القيام بها على الفرايز

كما يمكن تثبيت الشغلة بواسطة رأس التقسيم فى حالة عمل التروس أنظر شكل (٤-٥٢) وشكل (٤-٥٣) يبين كيفية عمل تفريز حلزونى .



شكل (٤-٥٣) كيفية عمل تفريز حلزونى

شكل (٤-٥٢) رأس التقسيم لعمل تروس

٤-٨-٣- الفريزة العامة : Universal Milling Machine

ويمكنها القيام بعمل الفرايز لسابقة كما يمكن إمالة الرأس.

٤-٩- المكاشط النطاحة وذات العربة Shaper and planers

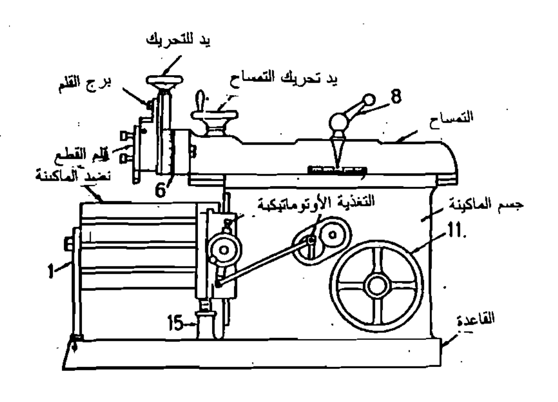
تتم عملية القشط بواسطة مكنات المقاشط لتسـوية الأسطح المستوية حيث تقوم بتثبيت المشغولـة على نضد وتحريك أداة القطع حـركة خطية ذهـابًا وإيـابًا مع ممـارستها لعمق القطع وبـالنسبة لحركـة لتغذيـة لكل شوط يمكن ذلـك بتحريك النضـد الحامل للمشغولـة (حالـة المقشطـة النطـاحـة) ويستخـدم فى القطع قلم أحـادى الحد القـاطع (قلم المكشط) وتختلف المكاشط عن الماكينات الأخرى فى أن حركة القطع الرئيسية هى حركة ترددية .

ويتعرض قلم المكشطـة لصدمات فى بدايـة كل شوط وقد تسبب هذه الصـدمات كسر قلم القطع إذا كانت قوية لا يتحملها قلم القاطع .

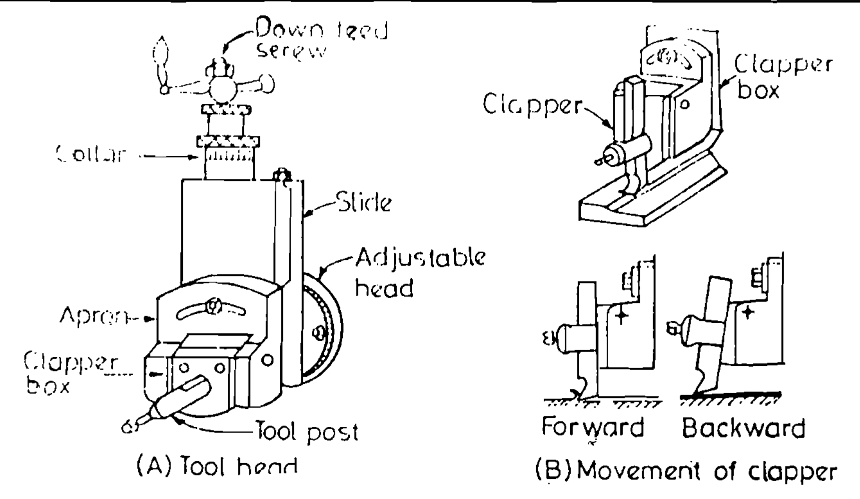
وتنقسم المكاشط إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى :

٤-٩-١- المكشطة النطاحة أنظر شكل (٤-٥٤) Shaper

وتتحرك المشغـولة بعـد تثبيتها على النضد حـركة أفقيـة عريضة هى حـركة التغـذية بينما يتحرك القلم الحركـة الترددية (شـوط القطع البطئ وشوط الـرجوع السريع) ولا نحتـاج هنا إلى سوائل تبريـد إذا أن تبريد القلم يتم أثناء شوط الـرجوع . وتستخدم المقشطة النطـاحة لكشط المشغولات الصغيرة ومتوسطة الحجم . أنظرر شكل (٤-٥٥).



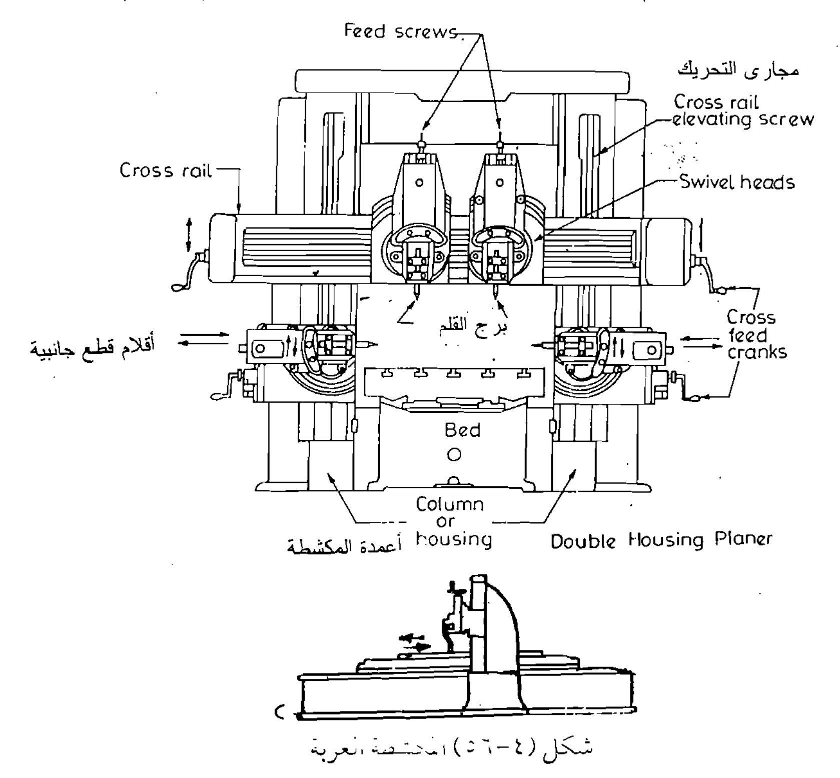
تابع شكل (٤-٥٤) أجزاء المقشطة النطاحة



شكل (٤-٥٥) حركة قلم القطع بالمكشطة النطاحة (أثناء مشوار القطع - أثناء الرجوع)

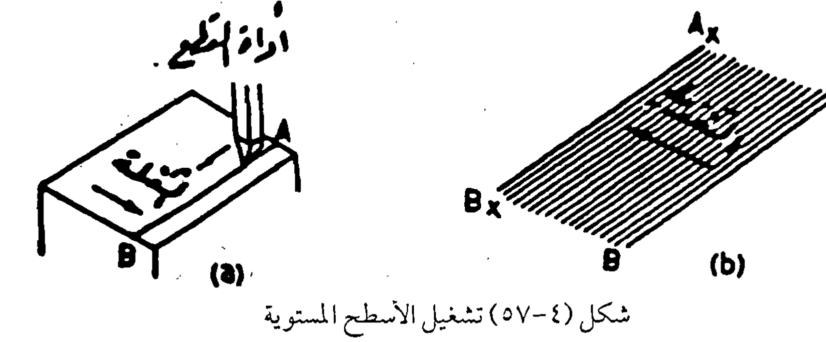
٤-٩-٢- المكشطة العربة أنظر شكل (٤-٥٦) Planer

وتستخدم لعمل مشغولات الطويلة والكبيرة الحجم وثقيلة الوزن وتختلف المكشطة العربة عن النطاحة فى قيام العربة بعمل الحركة الترددية فى حين تقوم الأقلام العلوية بعمل



شكل (٤-٥٦) المكشطة العربة

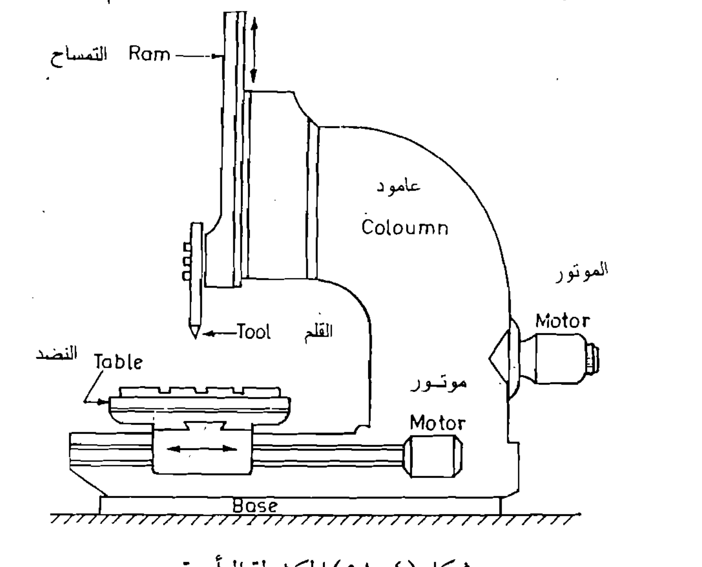
حركة التغذية لكل شوط ويمكن تركيب أكثر من حد قاطع وذلك لإقلال زمن التشغيل وشكل (٤-٥٧) بين كيفية تشغيل للأسطح المستوية .



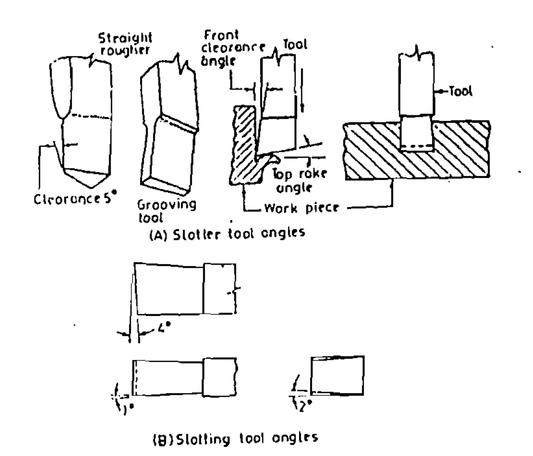
شكل (٤-٥٧) تشغيل الأسطح المستوية

٤-٩-٣-المكشطة الرأسية . أنظر شكل (٤-٥٨) Slotter

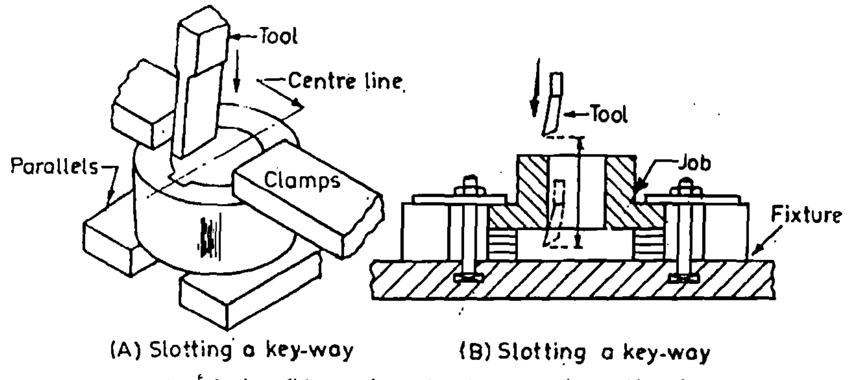
يتحرك القلم حركة ترددية إلى أعلى وأسفل مكونًا مشوار القطع البطئ والرجوع السريع وهى تشبه المكشطة النطاحة ولكن حركتها أسية وتقوم بعمل المجارى فى الثقوب والأسطح الرأسية . وفى كل عمليات الكشط تكون عملية القطع فى إتجاه واحد فقط ويكون شوط العودة دون قطع مما يمكن قلم القطع من التبريد أثناء شوط الرجوع شكل (٤-٥٩) يبين الأقلام الممكن استخدامها فى المكشطة الرأسية وشكل (٤-٦٠) يبين كيفية عمل مجارى الخوابير بالمكشطة الرأسية وشكل (٤-٦١) يبين العمليات التى يمكن القيام بها على المكشطة النطاحة والعربة .



شكل (٤-٥٨) المكشطة الرأسية



شكل (٤-٥٩) أقلام القطع بالمكشطة الرأسية



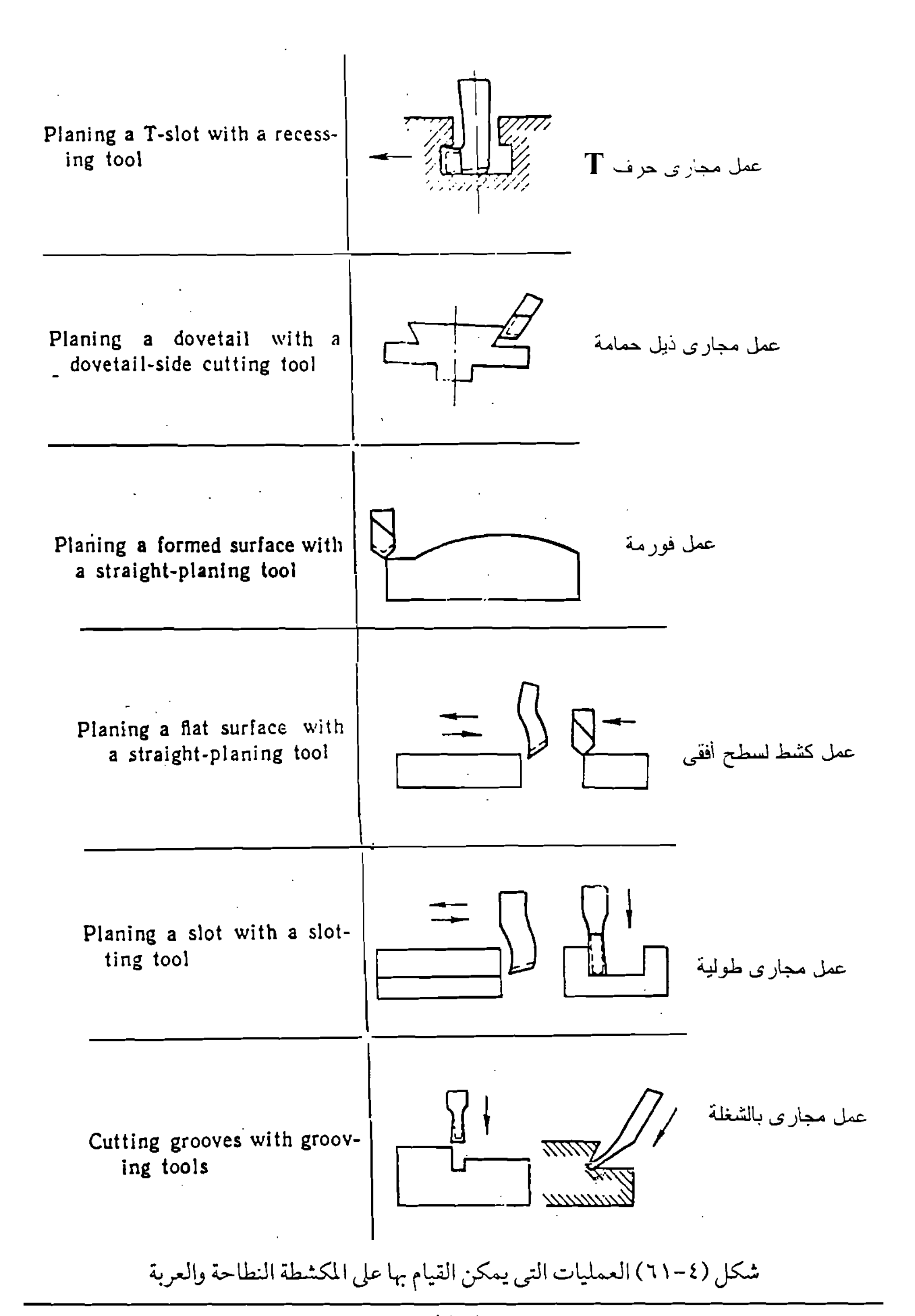
شكل (٤-٦٠) كيفية عمل مجارى الخوابير بالمكشطة الرأسية

٤-١٠- مكنات التجليخ Grinding Machine

عملية التجليخ هى عملية تشطيب الأسطح المشغلة أى تشغيلها بدقة وجودة عالية وذلك باستخدام أداة قطع متعددة الحدود القاطعة يكاد يكون ما لا نهاية .

ويمكن تجليخ الأسطح الدورانية والمستوية وغيرها ويمكن أيضًا استخدام عملية التجليخ فى قطع المعادن والسبائك ذات الصلادة العالية التى يتعذر قطعها على الماكينات السابق ذكرها .

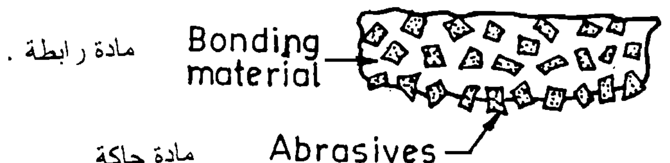
وتتكون أداة القطع (حجر التجليخ) من مادة حاكة ومادة رابطة المادة الحاكة مثل كربيد السيليكون وأكاسيد الألومنيوم والمادة الرابطة مثل الراتنجات والمطاط أو المواد المزججة Vitrified وتعجن هذه المواد مع بعضها ثم تشكل فى قالب ثم تلبد بالحرق لتكوين حجر التجليخ . أنظر شكل (٤-٦٢)



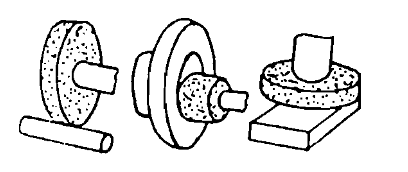
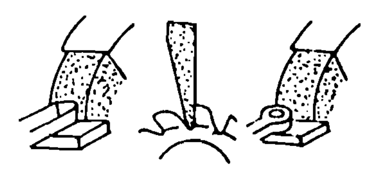
شكل (٤-٦١) العمليات التى يمكن القيام بها على المكشطة النطاحة والعربة

ويبين شكل (٤-٦٣) كيفية استخدام أحجار التجليخ فى سن أقلام القطع كما يبين شكل (٤-٦٤) التجليخ الأسطوانى الخارجى والداخلى .

ويمكن تصنيع أشكال متعددة لأحجار التجليخ أنظر شكل (٤-٦٥) .

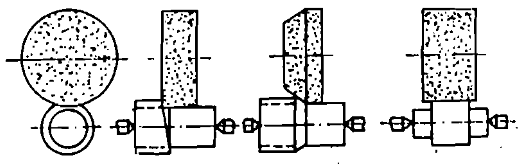
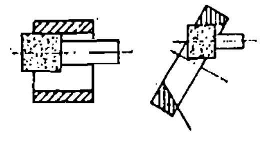


شكل (٤-٦٢) مقطع فى حجر الجلخ

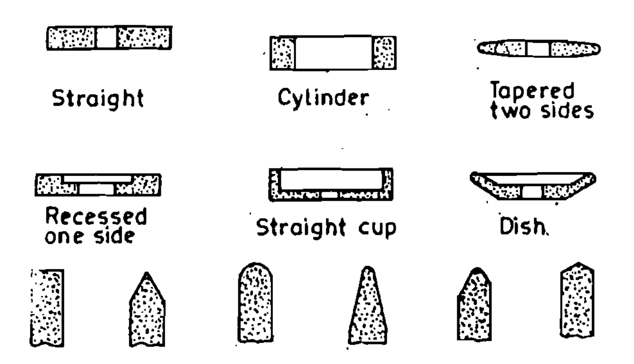
(F) Grinding of work piece (G) Sharpening of tools

شكل (٤-٦٣) أنواع التجليخ وسن أقلام العدة

(B) External cylindrical surface grinding (C) Internal cylindrical surface grinding

شكل (٤-٦٤) تجليخ اسطوانى خارجى وداخلى



شكل (٤-٦٥) بعض أشكال لأحجار التجليخ

وتنقسم أنواع ماكينات التجليخ إلى ثلاث أنواع رئيسية هى :

١ - تجليخ أسطوانى خارجى .   ٢ - تجليخ أسطوانى داخلى .   ٣ - تجليخ سطحى .

وتوجد ماكينات تجليخ أخرى خاصة .

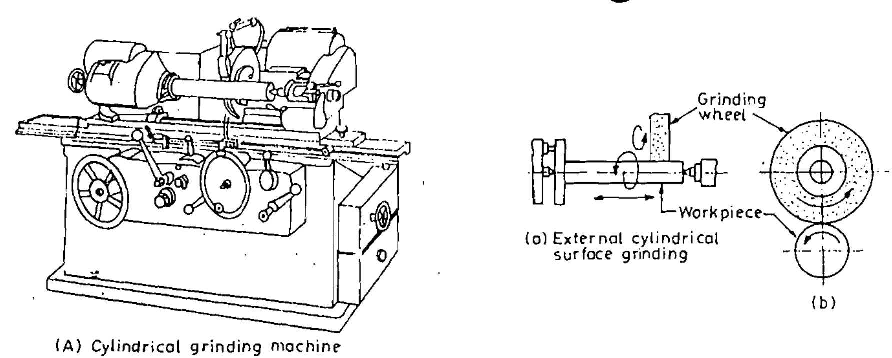
٤-١٠-١- التجليخ الأسطوانى الخارجى External Cylindnical Grinding أنظر الشكل (٤-٦٦).

وتثبت المشغولة بطرق تشبه طرق التثبيت على المخرطة والمكنة نفسها تشبه مكنة المخرطة حيث تدور المشغولة وفى نفس الوقت تدور أداة القطع (فى إتجاه مضاد) .

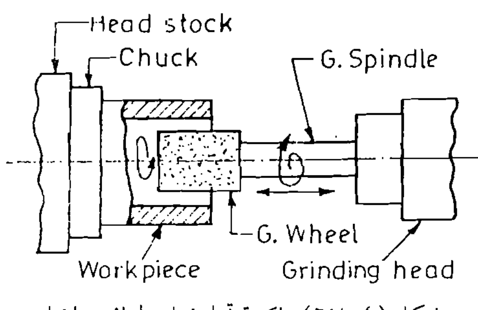
وتتحرك المشغولة حركة ترددية لتجليخ السطح الأسطوانى بكامله .

٤-١٠-٢- التجليخ الأسطوانى الداخلى Internal Cylindnical Grinding أنظر الشكل (٤-٦٧).

ويتحرك حجر التجليخ حركة كوكبية (شمسية) حول محور المشغولة وفى نفس الوقت يتحرك حول مركزه وذلك لتجليخ أسطوانة من الداخل .



شكل (٤-٦٦) ماكينة تجليخ اسطوانى خارجى



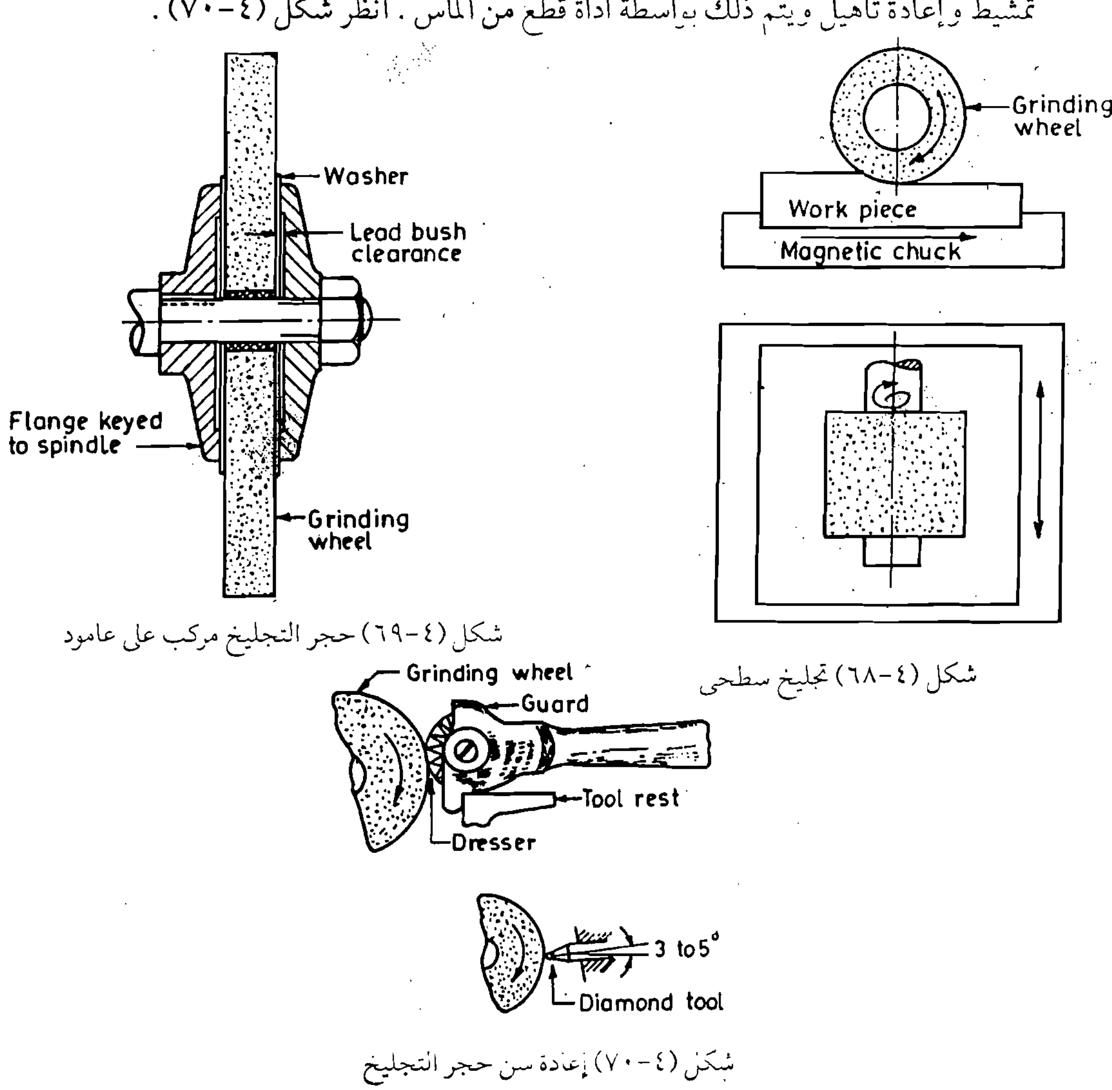
شكل (٤-٦٧) ماكينة تجليخ اسطوانى داخلى

٤-١٠-٣- **التجليخ المستوى Surface Grinding** أنظر الشكل (٤-٦٨) .

وتثبت المشغولة على النضد أما وسيلة مغنطيسية أو بواسطة وسائل أخرى . وتتحرك الشغلة حركة ترددية أفقية وفى نفس الوقت يدور حجر التجليخ حركة دورانية بسرعة عالية .

لابد من التأكد من إتزان حجر التجليخ إذ أنه يدور بسرعة عالية وأى عدم إتزان يسبب كسره وتطايره وإصابة للعاملين .. أنظر شكل (٤-٦٩) .

ويبرى حجر التجليخ عند استخدامه وتمتلئ مسامه بالرائش الصغير ويحتاج إلى إعادة تمشيط وإعادة تأهيل ويتم ذلك بواسطة أداة قطع من الماس . أنظر شكل (٤-٧٠) .



شكل (٤-٦٩) حجر التجليخ مركب على عامود

شكل (٤-٦٨) تجليخ سطحى

شكل (٤-٧٠) إعادة سن حجر التجليخ

الباب الخامس

تشكيل المعادن
METAL FORMING

(أ.د. مصطفى عبد المنعم شعبان)

٥-١- التشكيل اللدن للمعادن
(PLASTIC FORMING OF METALS)

يحتاج التقدم الصناعى إلى أجزاء معدنية ، يتم إنتاجها بعمليات التشكيل اللدن ، وذلك لكى تتحمل الإجهادات العالية ، وتفى با لمتطلبات الضرورية للاستخدام . وتشمل عمليات التشكيل اللدن للمعادن ، عمليات الحدادة ، والدرفلة ، والبثق ، وسحب الأسلاك ، وسحب المواسير ، والسحب العميق ، والرَحْو ، والثنى . ويجرى تصنيع الأجزاء المعدنية بالتشكيل اللدن ، للحصول على الشكل والأبعاد المطلوبة بطريقة مناسبة ، وبتكلفة اقتصادية .

وأبسط طريقة لتغيير شكل جزء معدنى ، هو طرقة بواسطة مطرقة . ويتضح من ملاحظة خواص المعادن أثناء عملية الطرق ، أنـه ممكن للمعادن أن يتم تغيير شكلها ، مع عدم حدوث تغيير فى حجمها ، وذلك أثناء عملية التشكيل . وتجرى عمليات التشكيل للمعادن - إذا نظرنا إلى منحنى الجهد والإنفعال - بعد حد المرونة ، أى فى مدى اللدونة للمعادن .

وممكن أن تتم عمليات التشكيل للمعادن على الساخن أو البارد ، فإذا تمت عملية التشكيل عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور للمعدن ، فيكون التشكيل على الساخن ، وإذا تمت عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة إعادة التبلور ، يكون التشكيل على البارد . ويلاحظ أن بعض المعادن تكون درجة إعادة تبلورها عند درجة حرارة الجو أو أقل ، مثل الرصاص والقصدير والزنك ، ولذلك تكون عملية التشكيل لهذه المواد عند درجة حرارة الجو تشكيل على الساخن .

وتنتج عمليات التشكيل على الباردة ، أجزاء ذات مقاومة وصلادة عالية ، ودرجة نعومة جيدة للأسطح . وتحتاج عمليات التشكيل على البارد إلى قوى كبيرة ، ونجد أن الأجزاء التى يتم الحصول عليها بالتشكيل على البارد ، ذات مطيلية منخفضة ، وممكن أن تنكسر فى حالة اجراء عمليات تشكيل كبيرة على البارد ، وفى هذه الحالة يحتاج المعدن إلى عملية تخمير حرارى ، لإزالة الإجهادات التى تمت على المعدن .

وتحتاج عمليات التشكيل على الساخن إلى قوى منخفضة ، وتكون المنتجات ذات مطيلية عالية ، وتتحول حبيبات المعدن إلى حبيبات صغيرة ، ولا يحدث تصلد للمعدن . كما أنه فى حالة وجود أى فجوات داخلية صغيرة فى المعدن ، ممكن أن يتم غلقها ولحامها . ونتيجة لإجراء عملية التشكيل عند درجات الحرارة العالية ، فيوجد الأكسيد على سطح المعدن ، مما يقلل من درجة نعومة أسطح المنتج .

وتتطلب دراسة عمليات التشكيل للمعادن ، معرفة خواص المعادن ، واللدونة ، والميكانيكا ، والميتالورجيا ، والحرارة ، والاقتصاد . ويتم اختيار نوع المعدن الذى تتم عليه عملية التشكيل ، بالاتفاق بين المصمم والمنتج لكى تتم عملية التشكيل بسهولة واقتصاديا . ويعتمد اختيار المعدن على خواصه الميكانيكية ، والطبيعية ، بالإضافة إلى توافره اقتصاديًا.

وعند مقارنة عمليات التشكيل المختلفة ، واختيار إحداها لتناسب المنتج المعدنى المطلوب ، فإنه يؤخذ فى الاعتبار بعض العوامل ، مثل التغيير فى مقاس المنتج ، ودرجة حرارته ، ومعدل التشكيل ، ودرجة نعومة الأسطح ، وحجم وصعوبة الشكل ، والتحكم فى الأبعاد ، ومعدل الإنتاج ، وعدد الاسطمبات والأدوات المطلوبة ، وعمر الاسطمبات والأدوات ، والتكلفة الكلية للمعدات والتشغيل ، والخبرة المطلوبة لتشغيل المعدات ، والأمان فى التشغيل .

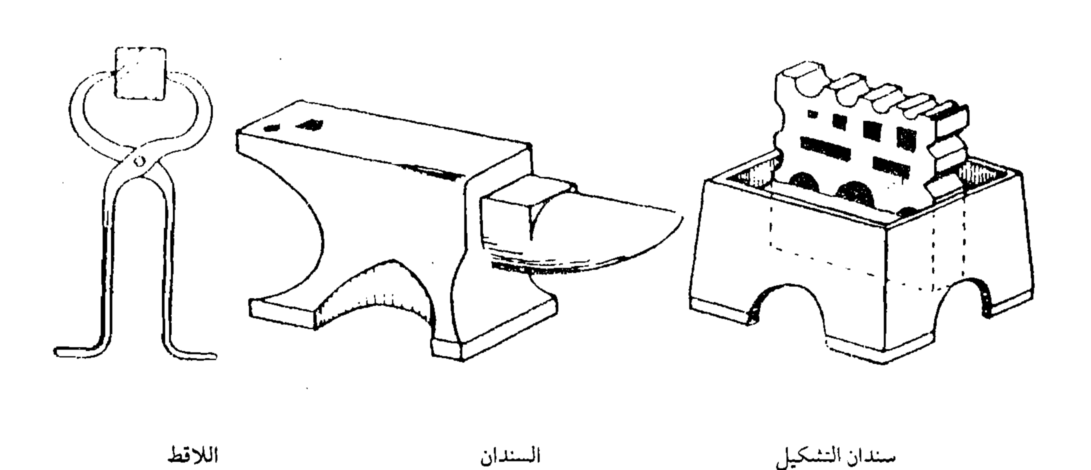
٥-٢- الحـــــدادة (FORGING)

الحدادة هى عملية تشكيل لـدن للمعادن ، تتم بواسطـة قوة ضغط ، باستخـدام اليد أو المطارق الآلية أو المكابس أو غيرهـا من معدات الحدادة . وتسمى منتجات عمليات التشكيل التى تتم بالحدادة با لمطروقات .

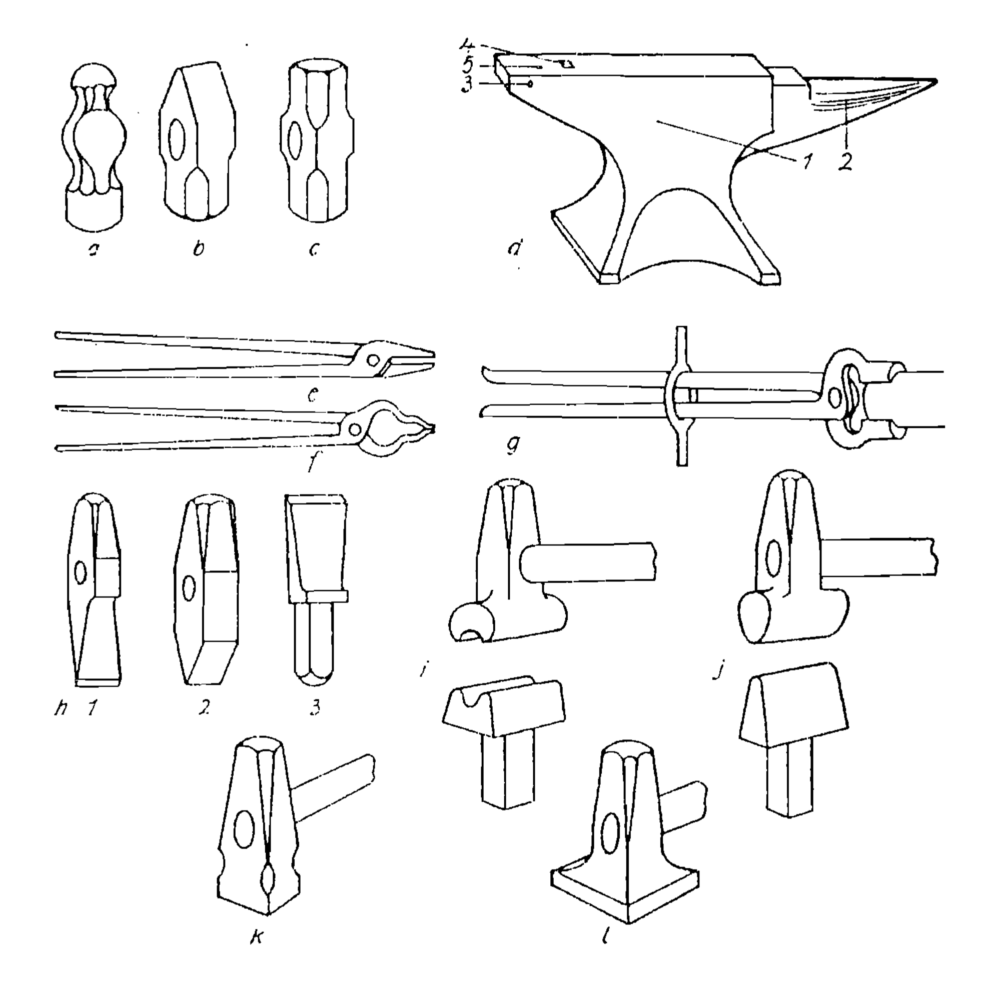
وتنقسم عمليــة الحدادة إلى الحدادة الحرة والتى يتم فيهــا تشكيل المعـــدن بين سطحين مستـويين ، وتستخدم فى إنتـاج الأعـداد الصغـــيرة ، والأجزاء الكبيرة . والحدادة بالاسطمبات والتى يتم فيها تشكيل المعدن داخل تجويف الاسطمبات، وتستخدم فى إنتاج الأعداد الكبيرة .

٥-٢-١- الحــدادة الحرة (Free Forging)

تتم عمليـات الحدادة الحرة إما يـدويًا أو بـا لمطـارق الآلية أو المكـابس . وتجرى الحدادة اليـدوية لـلإنتـاج الفردى لـلأجـزاء الصغيرة ، وتتم على السندان باستعمـــال أدوات الحدادة اليـدويـة ، والتى منهـا المرزبـات ، والمطـارق ، والجواكيش ، والمقـاطع ، وسنـابك التخـريم ، والبلصات المستديرة والمربعة ، واللواقط ، وغيرها ، كما هو موضح فى شكل (٥-١) .



شكل (٥-١) أدوات الحدادة اليدوية



بعض عدد الحدادة اليدوية

a – مطرقة بطرف كروى (مطرقة بيضة)
c – مطرقة حدادة ثقيلة بوجهين (مرزبة)
b – مطرقة بوجه واحد (مطرقة بناريج)
d – سندان الحدادة

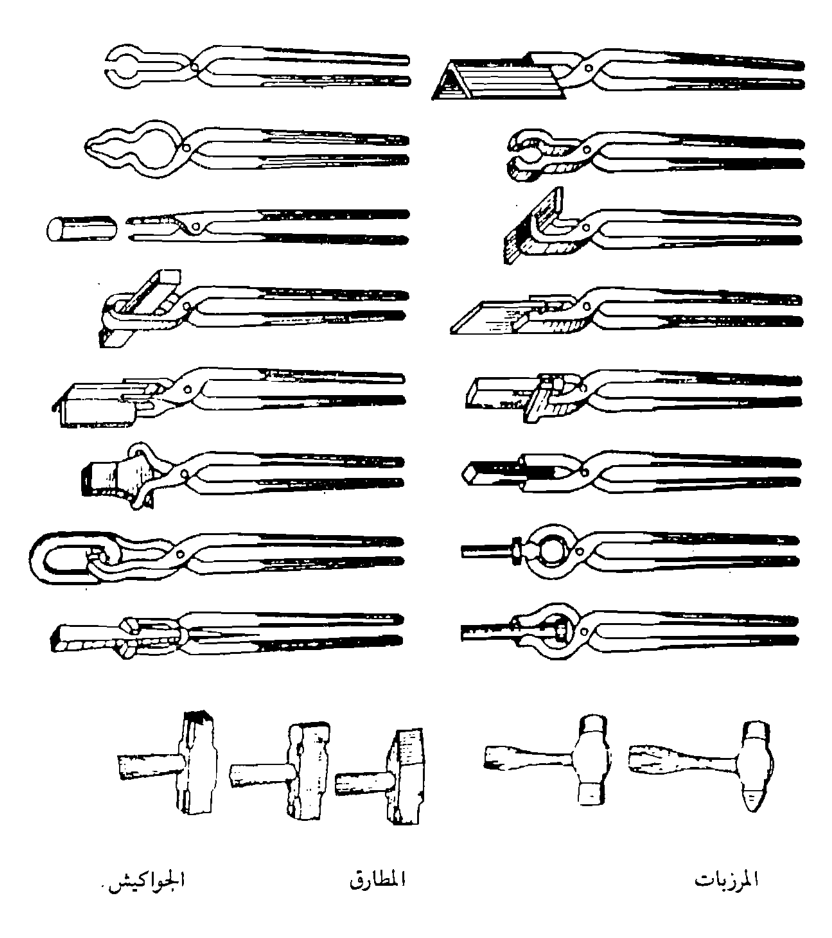
١ – جسم السندان من الحديد المطروق ، ٢ – قرن السندان ، ٣ – ذيل السندان ، ٤ – فتحة مربعة ، ٥ – فتحة مستديرة

e – ملقط بفكين مستقيمين
g – ملقط بحلقة لاقفال الفكين المعوجين
f – ملقط بفكين معوجين
h – مجموعة مقاطع (أجنات)

١ – أجنة للقطع على الساخن ، ٢ – أجنة للقطع على البارد ، ٣ – أجنة يركب نصابها في الفتحة المربعة بوجه السندان

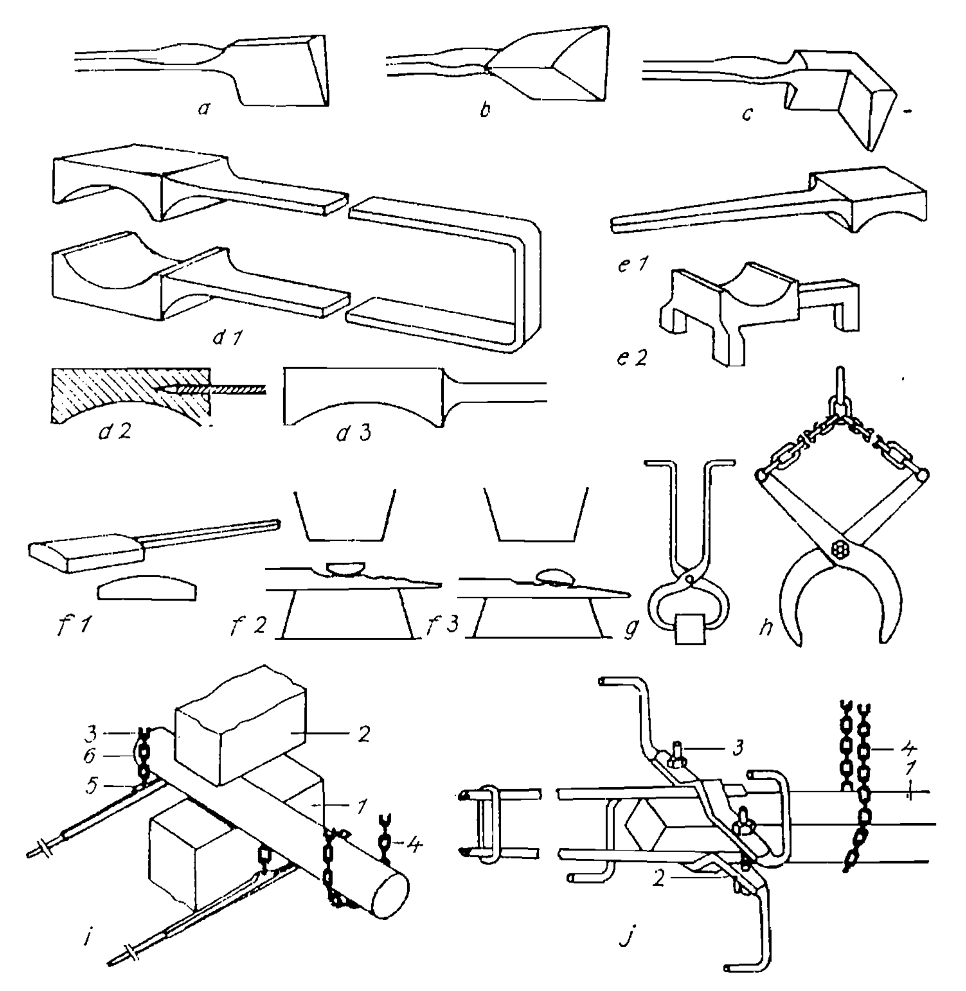
i – بلص ملفوف للأشغال المستديرة المقطع j – بلص خصر ملفوف k – بلص سوكة l – بلص مربع

تابع شكل (٥–١) أدوات الحدادة اليدوية



تابع شكل (٥-١) أدوات الحدادة اليدوية

وتجرى عمليات الحدادة للأجزاء متوسطة الحجم والكبيرة ، على المطارق الآلية والمكابس . وتتم باستعمال الأدوات المستخدمة فى الحدادة على الماكينات ، والتى منها بلصات المطارق ومكابس الحدادة ، والمقاطع ، وسنابك التخريم ، والشوك ، وغيرها ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢) .



بعض العدد والادوات المستخدمة مع المطارق الآلية

a – مقطع على الساخن b – مقطع على البارد c – مقطع لقطع الأركان d – عدة لتدوير المقاطع

e – بلص ملف يستعمل على كتلة القالب بالمطرقة

١ – نصف البلص العلوى ٢ – نصف البلص السفلي

f – عدة لعمل الحزوز والاستدقاقات (السلبيات) وكيفية استعمالها على المطرقة

g – ملقط يدوى للقضبان الثقيلة القصيرة h – ملقط ذاتي الغلق يعلق من جنزير ونش

i – عتلة تقليب

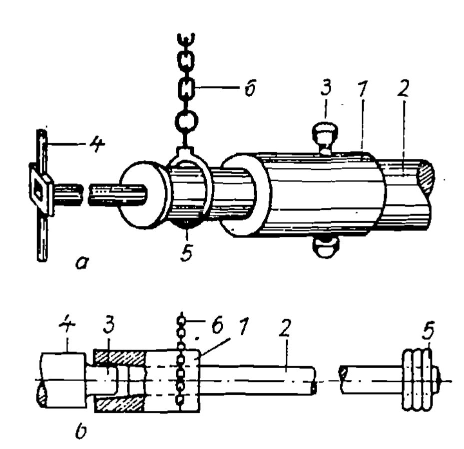
١ ، ٢ – نصفا قالب مفتوح ، ٣ – جنزير لتعليق عتلة التقليب ، ٤ – جنزير ونش ،

٥ – عتلة التقليب ٦ – المطروقة

j – قامطة مناولة

١ – المطروقة ٢ – قامطة المناولة ٣ – مسامير رباط ٤ – جنزير ونش

شكل (٥–٢) الأدوات المستخدمة في الحدادة بالماكينات



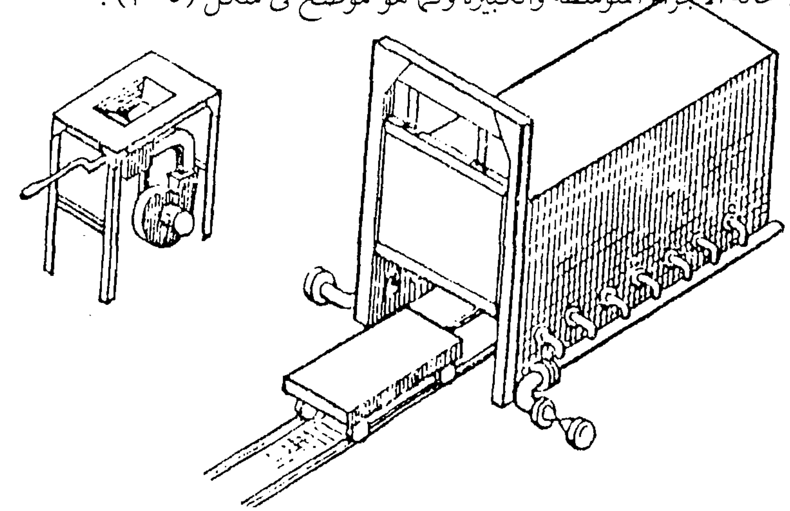
ظرفان يستعملان لتلفيف الخامات الثقيلة الطويلة
على المطارق أو المكابس

a – منظر لظرف يستعمل للتشكيل على المطارق الآلية
١ – الظرف ٤ – ذراع تلفيف
٢ – الخامة الطويلة ٥ – حلقة
٣ – مسمار إحكام ٦ – جنزير معلق من ونش

b – ظرف يستعمل للتشكيل على المكابس
١ – الظرف ٤ – الكتلة المطلوب كبسها
٢ – ذراع الظرف ٥ – ثقل موازنة
٣ – ذيل الكتلة المطلوب كبسها (يشكل الذيل أولا لتركيبه في الظرف) ٦ – جنزير تقليب الكتلة

تابع شكل (٥-٢) الأدوات المستخدمة فى الحدادة بالماكينات

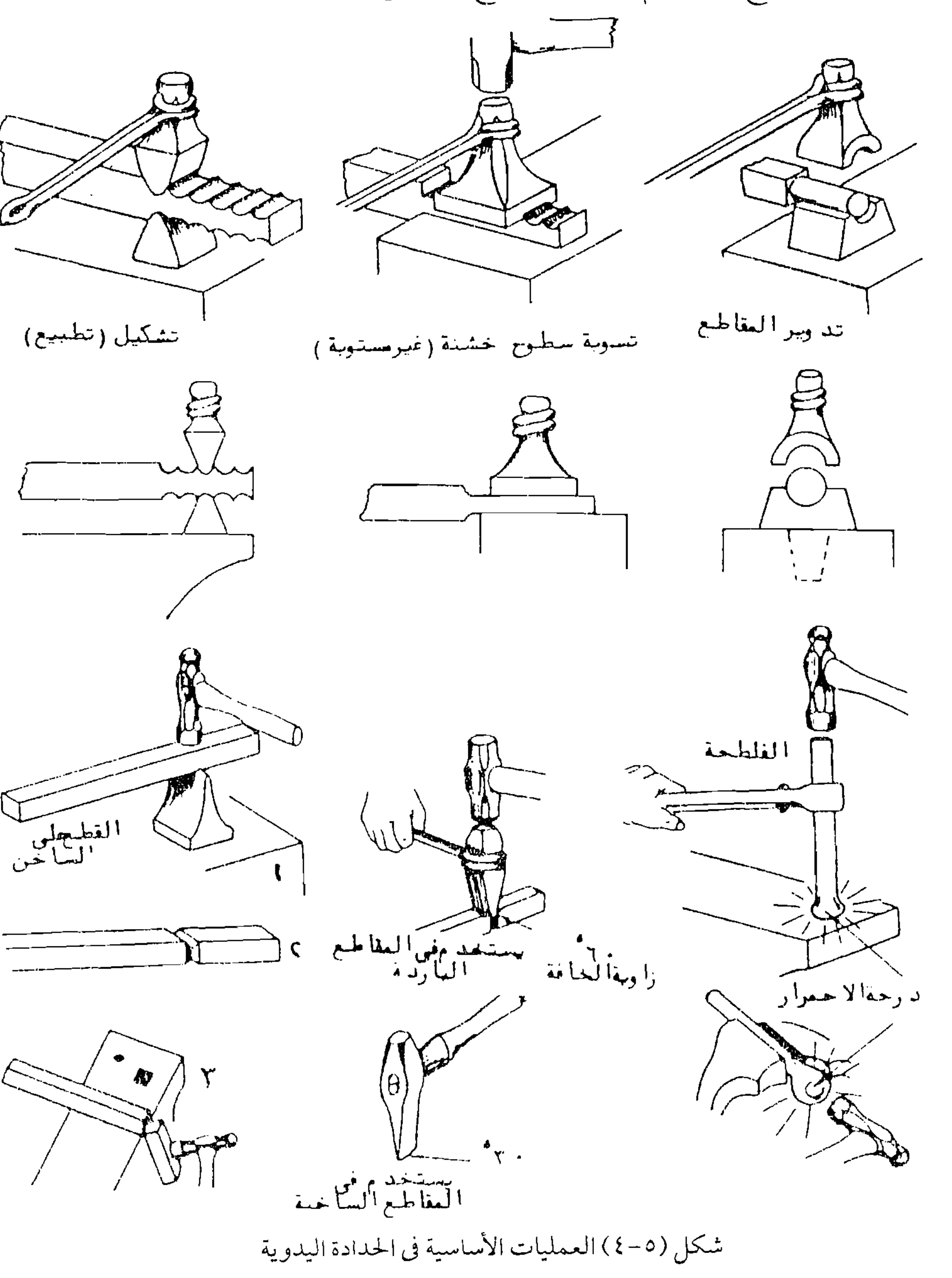
ويتم تسخين الأجزاء التى سيجرى تشكليها قبل عملية الحدادة ، وذلك باستخدام الكور البسيط فى حالة الحدادة اليدوية ، أو أفران تسخين تعمل بالغاز الطبيعى أو السولار أو الكهرباء فى حالة الأجزاء المتوسطة والكبيرة وكما هو موضح فى شكل (٥-٣) .



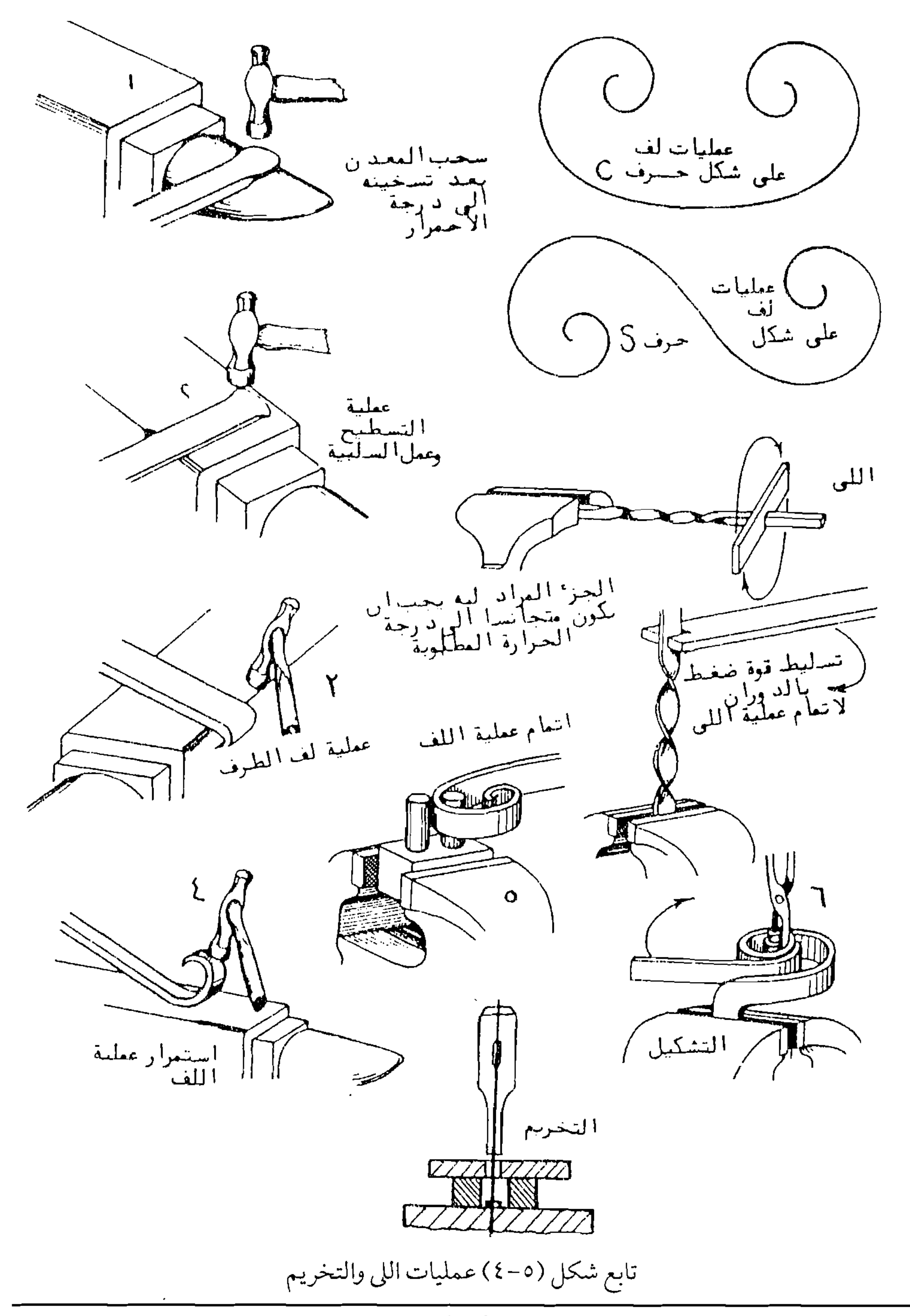
شكل (٥-٣) أفران التسخين

٥-٢-١-١- العمليات الأساسية فى الحدادة الحرة :

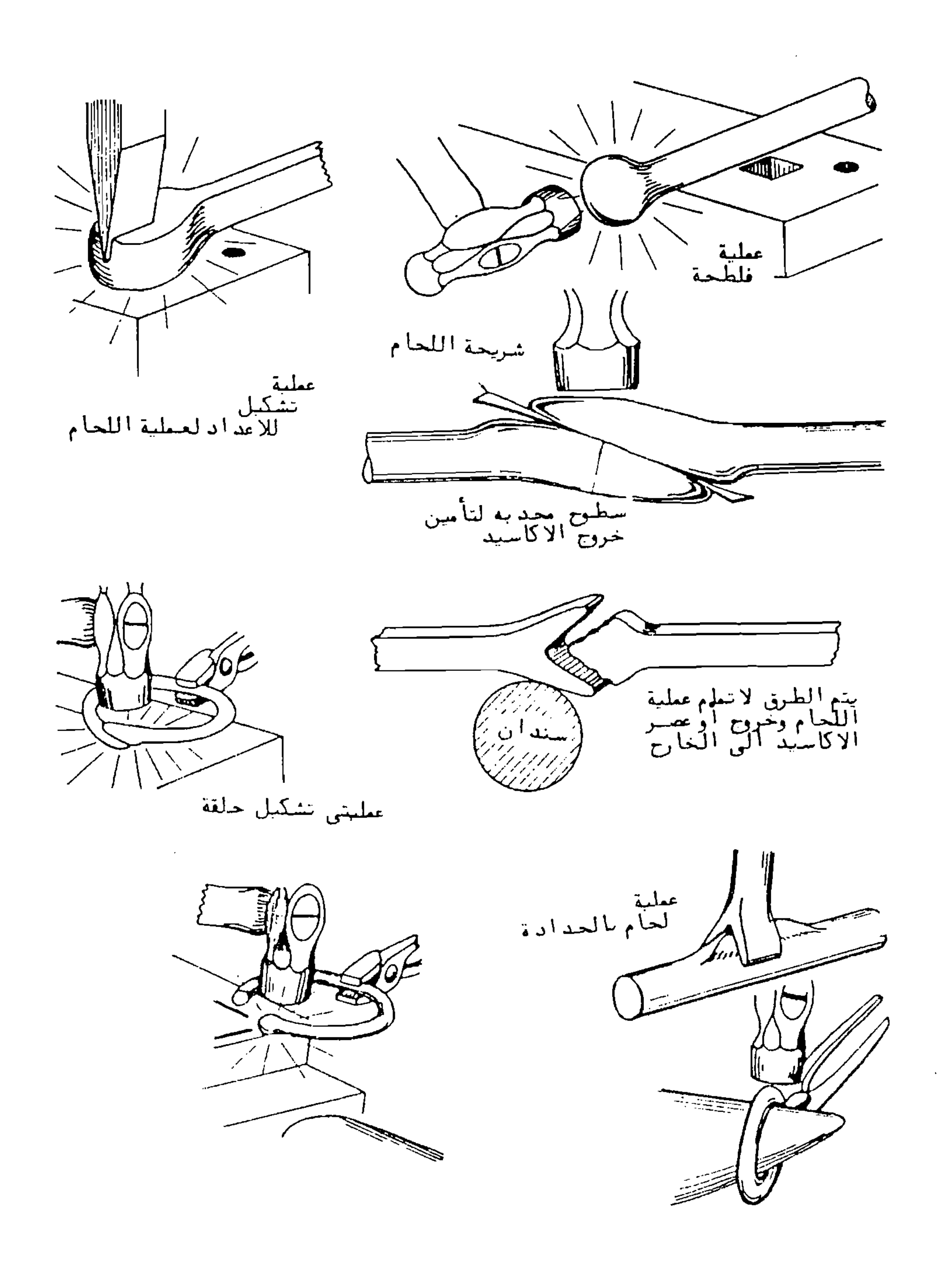
العمليات الأساسية فى الحدادة الحرة تشمل الكبس (الفلطحة)، والسحب، والثقب، والثنى، واللى، والقطع، واللحام، كما هو موضح فى شكل (٥-٤) وكما يلى :



شكل (٥-٤) العمليات الأساسية فى الحدادة اليدوية



تابع شكل (٥-٤) عمليات اللى والتخريم



تابع شكل (٥-٤) عمليات اللحام بالحدادة

٥-٢-١-١-١-عملية الكبس - الفلطحة - بالحدادة (Upsetting by Forging)

يتم فى هذه العملية تخفيض طول الخامة ، مع زيادة مساحة مقطعها ، ويشترط للحصول على تشكيل متزن وعدم حـدوث أنثناء طولى للخامـة ، ألا يزيد طول الخامـة عن $\frac{١}{٢}$ ٢ قطرها . وتجرى عمليـة الفلطحـة بـاستعمال المرزبـة على السنـــدال ، أو بين بلص المطـارق والمكـابس الميكانيكيـة . وتستعمل الفلطحة الجزئية لزيـادة قطر جزء من الخامة ، وفى هـذه الحالة يسخن من الخامة الجزء المراد فلطحته جزئيًا .

٥-٢-١-١-٢- عملية السحب بالحدادة (Drawing by Forging)

يتم فى هذه العملية زيادة طول الخامة ، مع تخفيض فى مساحة مقطعها . ويكون السحب ابتداء من منتصف الخامة إلى أطـرافها ، بضربات من المرزبة أو بلص المطرقـة الميكانيكية ، مع تقليب الخامة ٩٠° أو ١٨٠° ، ويغطى بلص المطرقة عرض الخامة المسحوبة .

٥-٢-١-١-٣- عملية الثقب بالحدادة :

يتم فى هـذه العملية عمـل ثقب بالخامـة ، وذلك بـاستخدام السنـابك ، بحيث تـوضع الخامـة فوق الثقب الموجـود بالسنـدان ، وذلك فى حالـة الحدادة اليدويـة . وفى حالـة الحدادة بالماكينـات يستخدم للثقب السنبك والحلقة . ولتفادى حـدوث زوائد يتم الثقب أولاً من أحد الجانبين بحيث لا يصل إلى نهاية الخامة ، ثم تقلب الخامة ، ويجرى ثقبها من الجانب الآخر .

٥-٢-١-١-٤- عملية الثنى بالحدادة :

يتم فى هذه العملية إعطاء الخامة شكلاً منحنيًـا أو يحصر زاوية . وتسخن الخامة موضعيًا قبل الثنى ، ويثبت أحـد أطـرافها بين بلص المطـرقـة ، ويتم ثنى الطـرف الآخر بضربـات من المرزبة ، وينخفض سمـك الخامة فى مكان الثنى ، ولـذلك يتم زيادة مقطعهـا بواسطـة عملية الفلطحة قبل الثنى .

٥-٢-١-١-٥- عملية اللى بالحدادة :

يتم فى هذه العملية لوى جزء من الخامة بزاوية محددة حول محورها ، وباستعمال يد الإدارة أو الشوكة .

٥-٢-١-١-٦- عملية القطع بالحدادة :

يتم فى هذه العملية قطع الخامة إلى جزئين أو أكثر ، ويكون القطع باستعمال المقاطع فى الحدادة اليدوية ، وباستعمال مقاطع عريضة خاصة فى الحدادة بالماكينات .

٥-٢-١-١-٧- عملية اللحام بالحدادة :

يتم فى هذه العملية تجميع جزئين ، بحيث ينطبق وجها طرفى الجزئين (اللحام التناكبى أو قورة على قورة) ، أو بحيث يقع أحد الطرفين فى تجويف الآخر ، أو بحيث ينطبق أحد الطرفين على الآخر (اللحام التراكبى أو شفة على شفة) ، وتفلطح أطراف الجزئين قبل اللحام ، وتأخذ أسطح اللحام شكلاً محدبًا . وتسخن الأطراف المجهزة إلى درجة اللحام ، وترش أسطح الالتحام بمساعد صهر الفلكس (خليط من الرمل الكوارتزى والبوريك) لتحويل طبقة الأكاسيد المتكونة إلى خبث ، ثم ينظف الخبث ، وتوضع الأطراف الساخنة على بعضها بحيث تنطبق أسطح الالتحام ، وتطرق حتى يتم اللحام .

٥-٢-١-٢- خطوات حدادة رأس مسدس لمسمار

يوضح الشكل (٥-٥) خطوات حدادة حرة لرأس مسدس لمسمار ، وتشمل الآتى :

(أ) يسخن قضيب مستدير المقطع بالقطر المطلوب فلطحته ، ويتم قطع الخامة بالطول المحدد .

(ب) يسخن أحد أطراف الخامة بطول الجزء المطلوب فلطحته ، وتكون الفلطحة بطرقات من المطرقة .

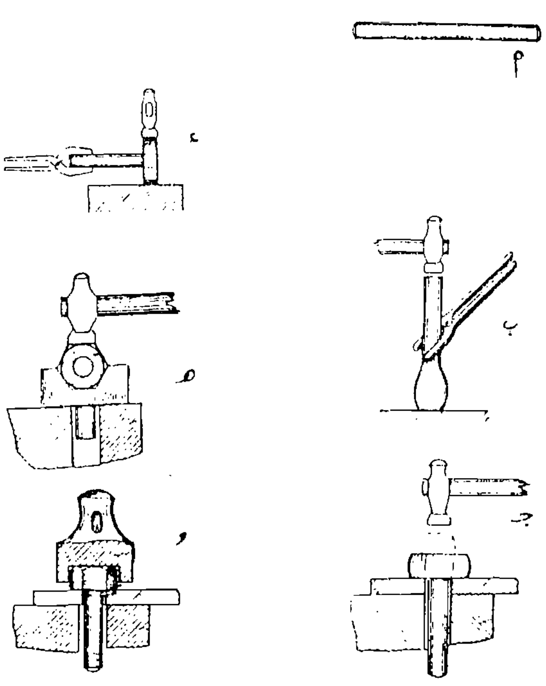
(جـ) يوضع الجزء الذى تم فلطحته فى اسطمبه، ويتم وضعهما معا على السندان ، بحيث يكون ساق المسمار فى ثقب السندان ، ويجرى تكملة فلطحة الرأس بضربات من المطرقة .

(د) يتم إخراج المسمار ، ويجرى إعطاء الرأس شكلاً أسطوانيًا باستعمال المطرقة .

(هـ) يسخن رأس المسمار ، ويتم إعطاءه شكلا مسدسا ، باستعمال بلص مسدس (النصف السفلى) .

(و) يتم وضع المسمار فى الأسطمبة ، ووضعه على السندان ، بحيث يمر فى ثقبه ، ويوضع بلص وجهى مستوى (مربع) على رأس المسمار ، ليعطى الرأس شكلا كرويا ، بضربات من المطرقة على المسمار البلص .

(ز) يستعدل ساق المسمار ، ويقاس طولـه ، وإذا كان طوله أكبر من المطلوب ، يسخن طرف المسمار ، ويقطع بالمقطع .



شكل (٥-٥) تسلسل عمليات طرق مسمار برأس مسدسة

٥-٢-١-٣- خطوات حدادة مفتاح صواميل

يوضح شكل (٥-٦) خطوات حداده حرة لمفتاح صواميل ، وتشمل الآتى :

(أ) يتم شنكرة الطول المطلوب ، ويقطع الجزء اللازم .

(ب) يسخن طرفى الجزء المراد تشكيله ، وشطفهما بالأجنة ، ثم تثنى الأطراف .

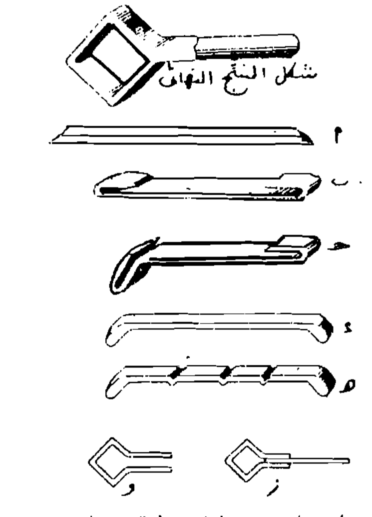
(جـ) يتم ثنى كل من الطرفين إلى الخارج .

(د) يسخن أحد الطرفين إلى درجـة حرارة اللحام ، ثم يجرى طرقـه حتى يلتحم ، وتكرر العملية بالنسبة للطرف الآخر .

(هـ) يتم عمل حزوز وسط الجزء ، بالأبعاد المطلـوبة للصواميل ، وذلك لتكوين الأركان للمفتاح .

(و) يتم ثنى الجزء بمكان الحزوز ، للحصول على الشكل المطلوب للمفتاح .

(ز) توضع يد المفتاح فى المكان المعد لها ، وبعملية اللحام يتم تشكيل المفتاح .

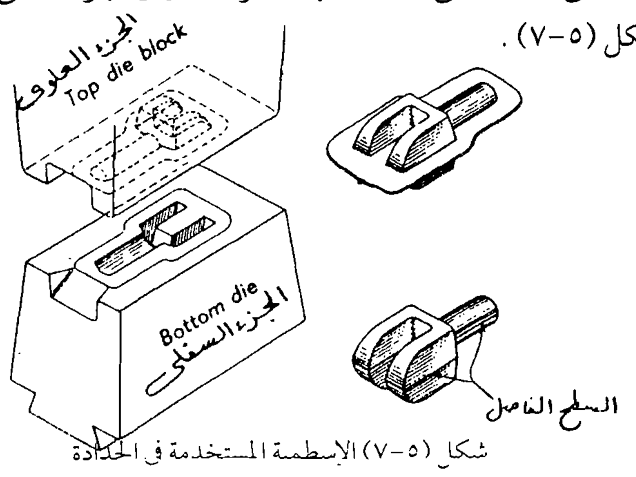


شكل (٥-٦) تسلسل عمليات طرق مفتاح صواميل

٥-٢-٢- الحدادة بالاسطمبات (Die Forging)

تتم عمليات الحدادة بالاسطمبات داخل تجويف الاسطمبة حيث يتم تشكيل المعدن بها، والمطروقات التى يتم إنتاجها بهذه الطريقة تكون ذات دقة أعلى من الحدادة الحرة ، وحيث أن تكلفة تصنيع الاسطمبات عالية ، فإنها تستخدم فى الإنتاج بالجملة . والأجزاء المطروقة التى يتم إنتاجها بالاسطمبات يكون تسامح التشغيل وتفاوت الأبعاد بها صغير بالمقارنة بمنتجات الحدادة الحرة .

وتتكون الاسطمبة من جزئين ، العلوى ويثبت فى الجزء العلوى من المطرقة أو المكبس ، والسفلي ويثبت على وسادة على السندان بالمطرقة ، أو فى الجزء السفلى للمكبس ، كما هو موضح فى شكل (٥-٧) .



شكل (٥-٧) الإسطمبة المستخدمة فى الحدادة

٥-٢-٢-١- خطوات الحدادة بالاسطمبات لإنتاج ذراع المرفق

يوضح شكل (٥-٨) خطوات الحدادة بالاسطمبات لإنتاج ذراع المرفق وتشمل الآتى :

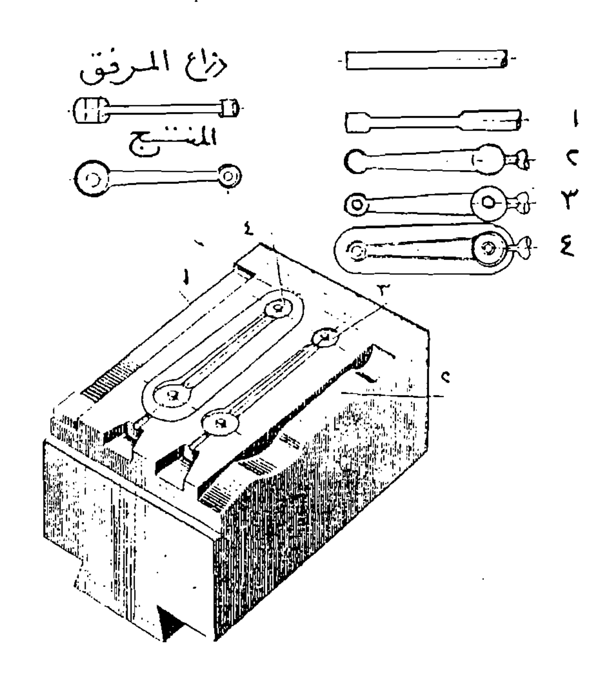
(أ) يتم حساب حجم خامة المعدن المطلوب ، ثم تقطع الخامة حسب الطول المحدد .

(ب) تسخن الخامة إلى درجة الحرارة المناسبة ، ثم توضع فى الفجوة ١ فى الاسطمبة ، حيث يتم تصغير مقطع الخامة فى الجزء الأوسط منها ، وتتم عملية التشكيل لتأخذ الخامة الشكل ١ .

(جـ) ثم يوضع الجزء فى الفجوة ٢ فى الأسطمبة ، حيث يتم تجميع الخامة المطلوبة فى النهايتين الكبرى والصغرى لذراع المرفق، وتتم عملية التشكيل لتأخذ الخامة الشكل ٢ .

(د) يوضع الجزء فى الفجوة ٣ فى الاسطمبة ، حيث تكون الخامة أقرب ما يمكن للشكل النهائى لذراع المرفق ، وتتم عملية التشكيل لتآخذ الخامة الشكل ٣ .

(هـ) يوضع الجزء فى الفجوة ٤ فى الاسطمبة ، وتأخذ الخامة الشكل النهائى للمنتج ، مع وجود زعانف زائدة ، ويتم قطعها بعد ذلك ، وتتم عملية التشكيل لتآخذ الخامة الشكل ٤ .

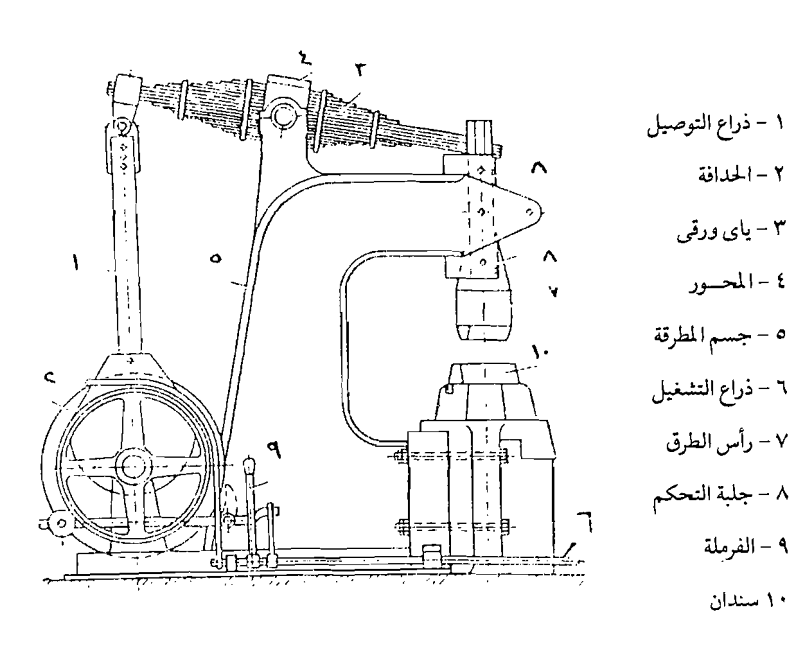


شكل (٥-٨) تسلسل عمليات إنتاج ذراع مرفق بواسطة الكبس فى الاسطمبة على عدة مراحل

٥-٢-٣- بعض أنواع المطارق والمكابس المستخدمة فى الحدادة
(Some Types of Hammers and Presses Used in Forging)

٥-٢-٣-١- المطارق (Hammers)

تحدد قدرة المطرقة بوزن الأجزاء المتساقطة منها ، وتنقسم إلى مطارق ميكانيكية التشغيل ، ومنها المطارق ذات السوستة ، والمطـارق الهوائية . والى مطارق تعمل بالبخار أو بضغط الهواء ، وفيما يلى شرح لبعض هذه الأنواع .



شكل (٥-٩) المطارق ذات السوست الورقية

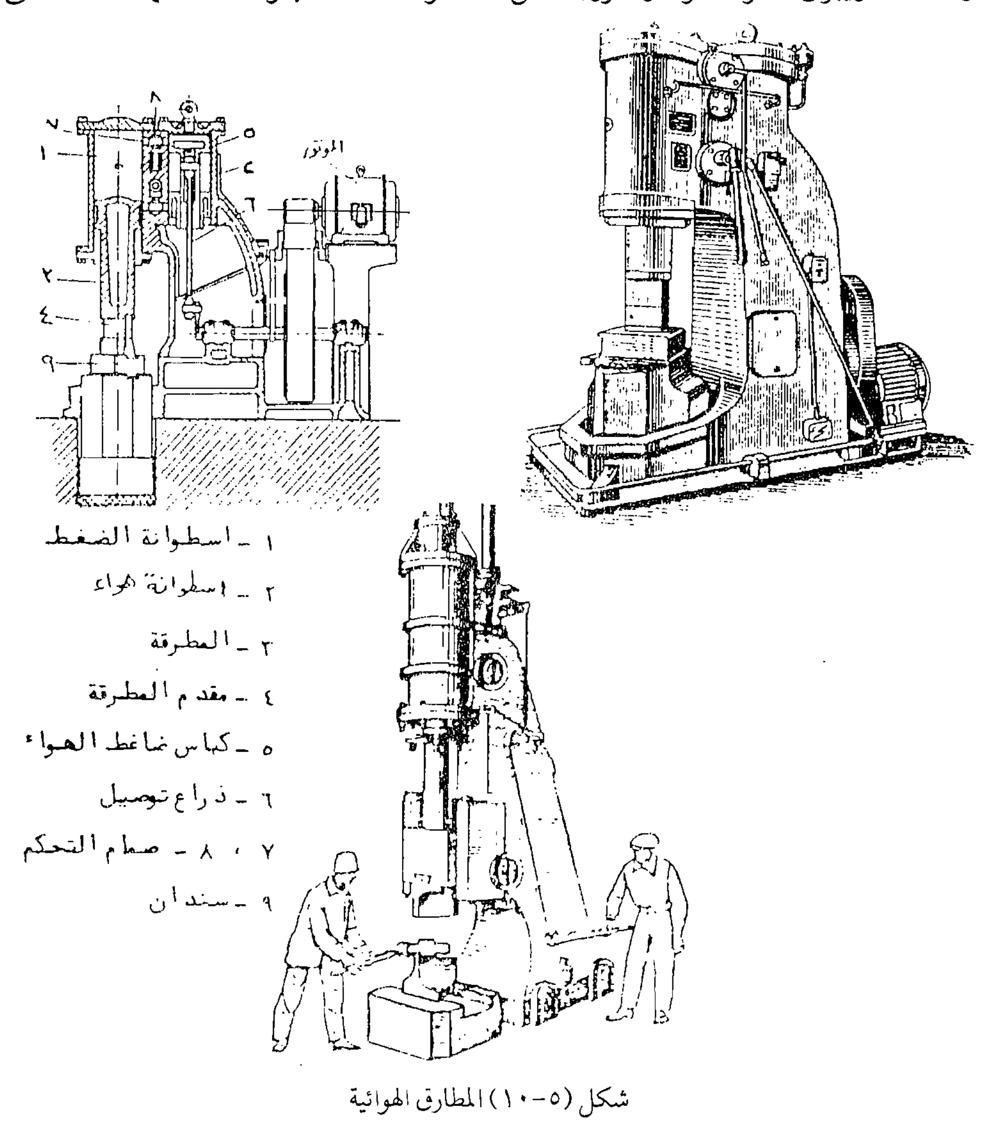
٥-٢-٣-١-١- المطارق ذات السوست الورقية (Leaf Spring Hammers)

يوضح شكل (٥-٩) المطرقة ذات السوست الـورقية ، وتنتقل الحركة من عمود المرفق إلى ذراع المرفق ١ ، والذى يتصل بالسوست الورقية ٣ ، وتتأرجح السوست على المحور ٤ ، وتتصل السوست بـالمطرقـة ٧ ، وهو معلق عليهـا تعليقًا حـرا ، وينزلق فى مجارى . وعنـد دوران عمود المرفق ترتفع وتهبط المطرقة ٧ ، ويتم حدادة الخامة التى تم وضعها على السندان ١٠ .

ويتراوح عدد الطرقات - الضربات - من ٣٠ إلى ١٢٠ طـرقة فى الـدقيقة ، ويصل وزن الأجـزاء السـاقطة لهـذه المطـارق من ٣٠ إلى ٢٥٠كجم ، وتستعمل هــذه المطـارق لطـرق الأجزاء الرقيقة .

٥-٢-٣-١-٢- المطارق الهوائية (Pneumatic Hammers)

يوضح شكل (٥-١٠) مقطع لمطرقة هوائية ، وتوجد بالمطرقة أسطوانتان ، الأسطوانة لعاملة ١ ، وأسطوانة الضغط ٢ ، ويتحرك فى الأسطوانة العاملة الكباس ٣ ، ويركب به لبلص الدقاق ٤ ، ويتحرك الكابس ٥ بواسطة عمود المرفق ٦ فيضغط الهواء الذى بالجزئين لعلوى والسفلى من أسطوانة الضغط على الترتيب . ويذهب الهواء المضغوط بواسطة لقنوات ٧ الى تجويف الأسطوانة العاملة مما ينتج عنه حركة الدقاق وأصطدامه بالسندان أو رتفاعه . ويجرى دخول الهواء وخروجه من الأسطوانة العاملة بواسطة الصمامات ٨ التى



شكل (٥-١٠) المطارق الهوائية

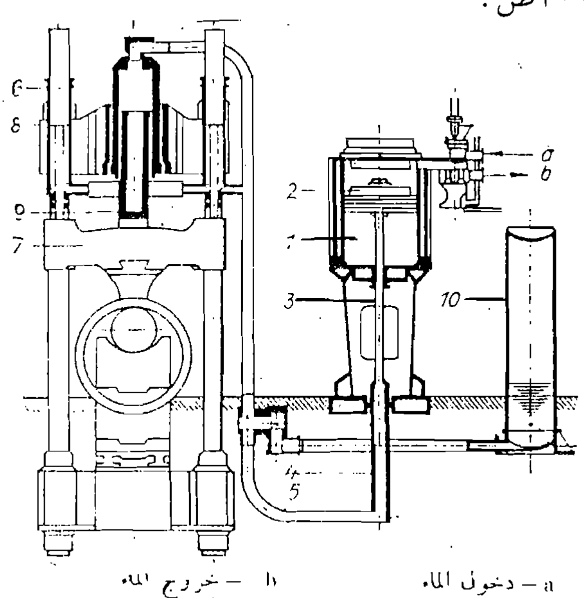
تحركها مقابض أو بدال . ويسمح وجود الصمامات بإجراء طرقات منفصلة أتوماتيكية ، أو بالإضافة إلى ذلك يسمح بابقاء الدقاق فى الوضع العلوى . ويتراوح وزن الأجزاء الساقطة من ٥٠ إلى ١٠٠٠ كجم . وتستعمل المطارق الهوائية للطرق الحر للمطروقات بوزن حتى ٢٠٠٠ كجم .

٥-٢-٣-٢- المكابس (Presses)

توجد أنواع مختلفة من المكابس والتى تستخدم فى عمليات التشكيل بالحدادة . ويقتصر الشرح فى الجزء التالى على المكابس الهيدروليكية ذات القدرات العالية ، وكما يلى :

٥-٢-٣-٢-١- المكابس الهيدروليكية (Hydraulic Presses)

يوضح شكل (٥-١١) مقطع لمكبس هيدروليكى ، ويستخدم فى طرق الكتل الكبيرة التى يصل وزنها حتى ٢٥٠طن ، وطاقة المكابس الهيدروليكية المستخدمة فى عمليات الحدادة الحرة من ٥٠٠ إلى ١٠٠٠٠طن ، وطاقة المكابس الهيدروليكية المستخدمة فى عمليات الحدادة بالاسطمبات إلى ٢٠٠٠٠طن .



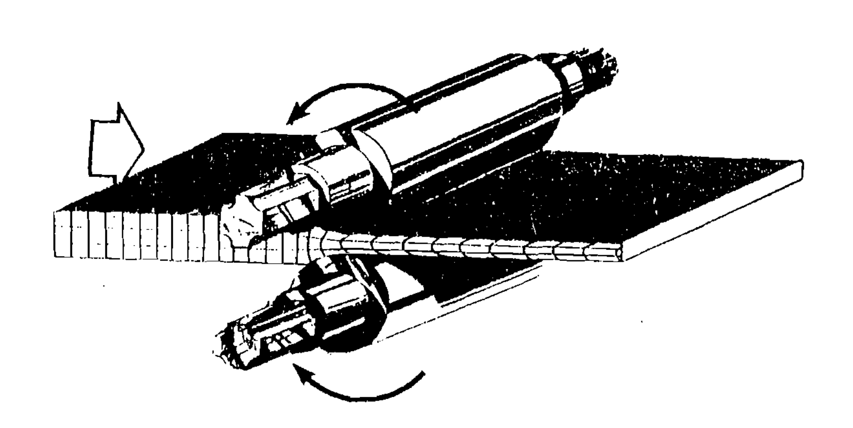
a – دخول الماء　　b – خروج الماء
١ – أسطوانة مزيد الضغط　　٦ – أسطوانة المكبس
٢ – كباس　　٧ – المزلقة (رأس المكبس)
٣ – ذراع الكباس　　٨ – أسطوانة رفع
٤ – أسطوانة هيدروليكية　　٩ – غاطس المكبس
٥ – خط أنابيب　　١٠ – خزان ماء

شكل (٥-١١) رسم تخطيطى للمكبس الهيدروليكى

٥-٣- الدرفلة (ROLLING)

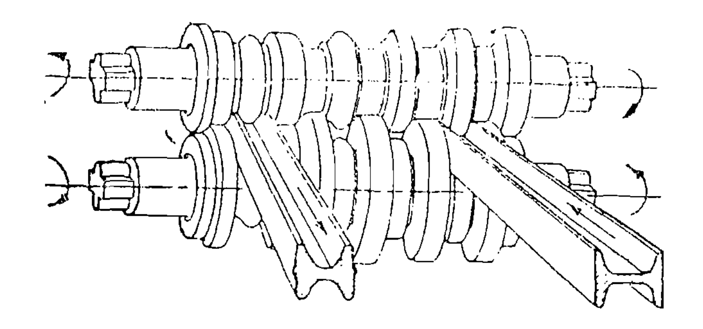
تسمى عملية التشكيل اللدن للمعادن أثناء مرورها بين درفلين تحت ضغطها بعملية الدرفلة ، كما موضح فى شكل (٥-١٢) . وتتم المراحل الأولى لعملية الدرفلة على الساخن ، لتحويل الكتل المسبوكة إلى بلاطات وكتل مدرفلة ، ويتبعها أيضًا الدرفلة على الساخن للحصول على الألواح والشرائط والأسياخ والمواسير والقضبان ومقاطع الهياكل المعدنية المختلفة : وتستخدم الدرفلة على البارد للحصول على منتجات ذات نعومة سطح جيدة ، ومقاومة ميكانيكية مرتفعة ، مع صلادة إضافية ، بالإضافة إلى الدقة فى الأبعاد ، ومن منتجاتها الألواح والشرائط والرقائق .

وتتم درفلة الكتل والبلاطات والشرائط والرقائق بواسطة درافيل ذات سطح أسطوانى كامل مستو ، كما هو موضح فى شكل (٥-١٢) . وتتم درفلة القضبان والأسياخ ومقاطع



شكل (٥-١٢) عملية الدرفلة بين درفيلين

الهياكل المعدنية مثل الزوايا والكمر وغيرها على درافيل ذات سطح أسطوانى به تجاويف - مجارى - دائرية حسب الشكل المطلوب للمنتج . وتتم عملية الدرفلة على عدد من المراحل حسب صعوبة شكل المنتج ، كما هو موضح فى شكل (٥-١٣) . ويمكن درفلة مواد الألومنيوم والنحاس والصلب وسبائكهم وغيرها .

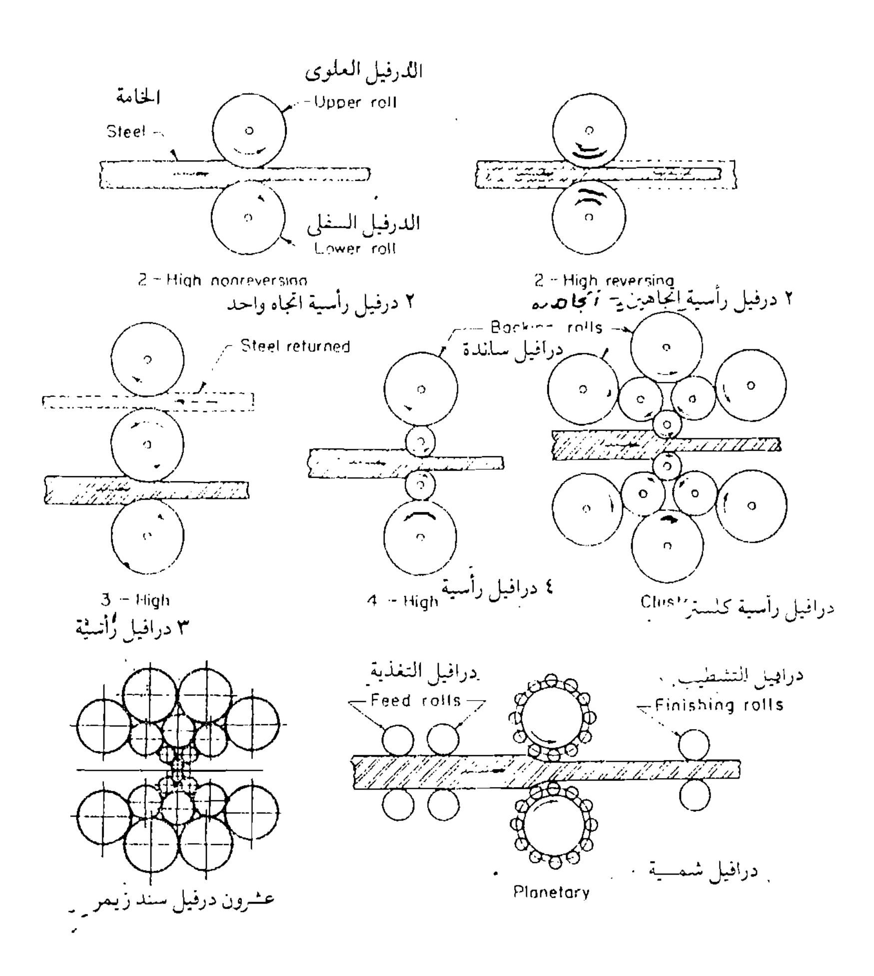


شكل (٥-١٣) الدرفلة باستعمال درفيلين عاكسين

٥-٣-١- أنواع وحدات الدرافيل (Types of Rolling Mills)

يوضح شكل (٥-١٤) الأنواع الرئيسية لوحدات الدرافيل المستخدمة في عمليات الدرفلة ، والتى تشمل الآتى :

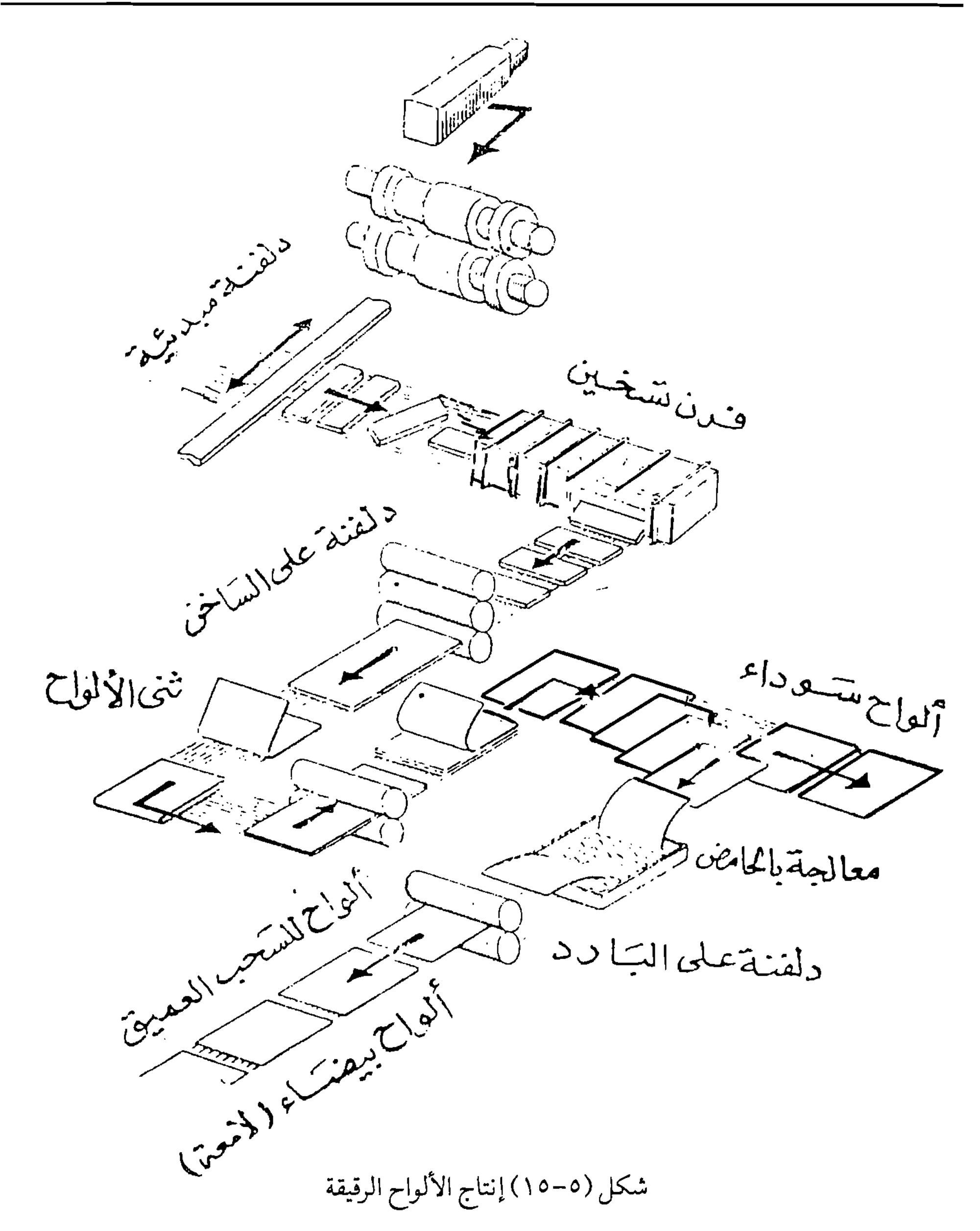
i - أثنين درفيل رأسية . (Two High Rolling Mill)
ii - ثلاثة درافيل رأسية . (Three High Rolling Mill)
iii - أربعة درافيل رأسية . (Four High Rolling Mill)
iv - درافيل كلستر . (Cluster High Rolling Mill)
v - عشرون درفيل – سندزيمر . (Twenty Rolls-Sendzimir Mill)
vi - درافيل شمسية . (Planetary Mill)



شكل (٥-١٤) أنواع وحدات الدرافيل

٥-٣-٢- خطوات إنتاج الألواح بالدرفلة

يوضح شكل (٥-١٥) عمليات إنتاج الألواح السوداء والألواح اللامعة بالدرفلة على الساخن والبارد . ويكون ذلك باستخدام درافيل ذات سطح أسطوانى كامل مستو ، مع الاستعانة بالمعالجة بالأحماض لإزالة القشور والشوائب والصدأ من أسطح الألواح السوداء . ويتم ترتيب وحدات الدرافيل فى خط إنتاجى متواصل ، وفيها تتعاقب عمليات الدرفلة بسرعات محددة ، حيث تزيد سرعة الدرافيل على التوالى ، نتيجة للتخفيض المتتالى فى سمك الألواح مع الزيادة فى الطول .

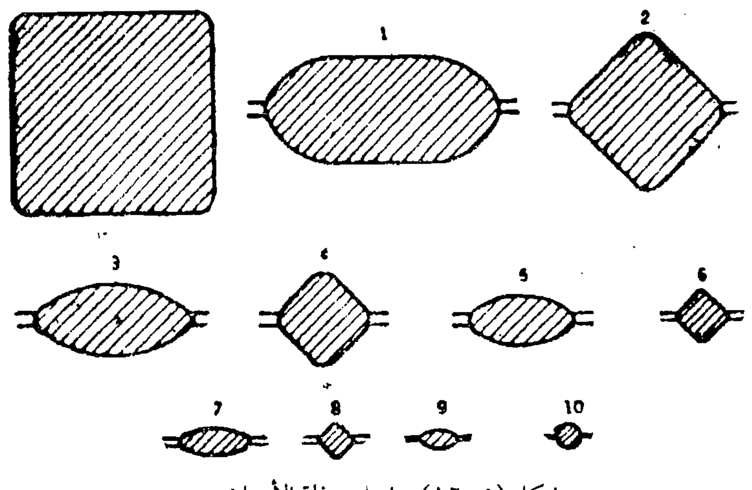


شكل (٥-١٥) إنتاج الألواح الرقيقة

٥-٣-٣- خطوات إنتاج الأسياخ بالدرفلة

يوضح شكل (٥-١٦) خطوات إنتاج الأسياخ بالدرفلة على الساخن ، ويتم فى هذه الحالة تشكيل كتلة مربعة مقاس ١٠٠×١٠٠مم إلى أسياخ مستديرة بقطر ٣٠مم . وتتم عملية الدرفلة على عشرة مراحل ، حيث يتم تحويل الكتلة المربعة إلى شكل بيضاوى ، ثم إلى شكل

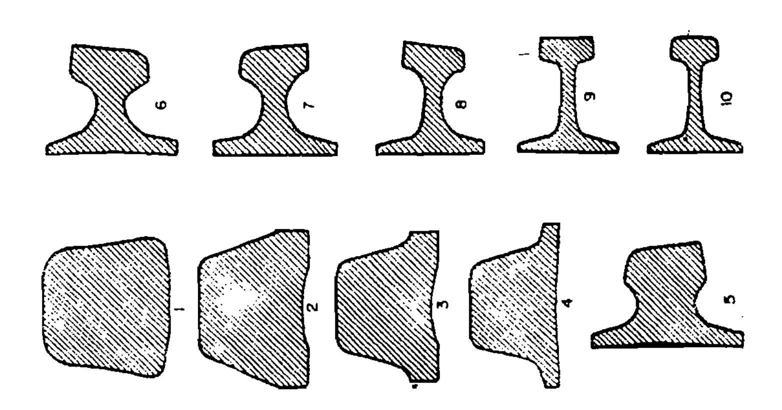
مربع ، ثم إلى شكل بيضاوى وهكذا ، مع تخفيض فى مساحة المقطع فى كل مرحلة ، حتى يتم التشكيل النهائى للأسياخ بالقطر المطلوب .



شكل (٥-١٦) مراحل درفلة الأسياخ

٥-٣-٤- خطوات إنتاج قضبان السكك الحديدية بالدرفلة

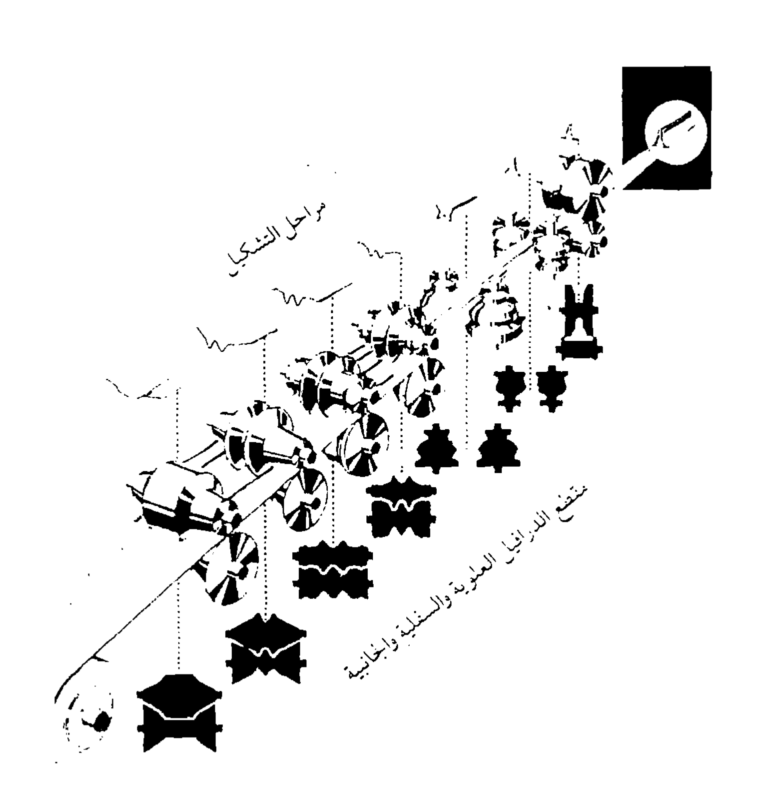
يوضح شكل (٥-١٧) خطوات إنتاج قضبان السكك الحديدية بالدرفلة على الساخن ، ويكون ذلك باستخدام درافيل ذات سطح أسطوانى به تجاويف دائرية . ويتم فى هذه الحالة تشكيل الخامة وهى عبارة عن كتلة مربعة الى قضيب السكك الحديدية المطلوب بالأبعاد والمواصفات المحددة . وتتم عملية الدرفلة على عشرة مراحل مع تخفيض فى مساحة المقطع فى كل مرحلة ، حتى يتم التشكيل النهائى للقضيب .



شكل (٥-١٧) مراحل درفلة قضبان السكك الحديدية

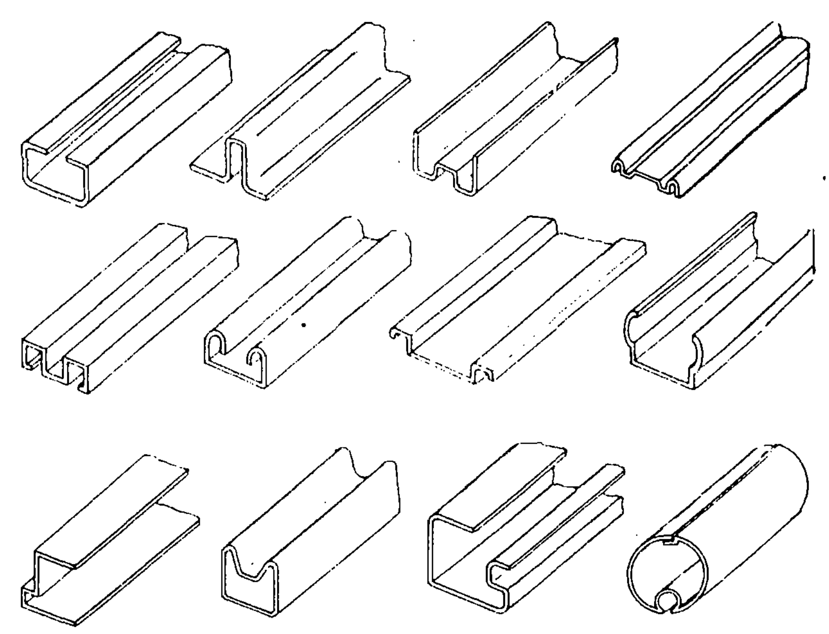
٥-٣-٥- التشكيل على البارد للألواح والشرائط والرقائق المعدنية

يتم التشكيل على البارد لـلألواح والشرائط والرقائق المعـدنية ذات السمك من ١٢٥ , ٠ إلى ٢٠مم ، بأسلـوب التشكيل المستمـر ، وبدون تسخين ، وبـواسطـة مجموعـات من درافيل التشكيل ، كما هـو موضـح فى شكل (٥-١٨) . وتتم العملية بطـاقـة إنتـاجية كبيرة ، وتكـون المنتجات ذات دقة جيدة .



شكل (٥-١٨) مراحل التشكيل على البارد للألواح والشرائط والرقائق

ويوضح شكل (٥-١٩) بعض منتجات عمليات التشكيل على البارد للألواح والشرائط والرقـائق المعدنية . ويمكن تشكيل المعـادن ذات المطيلية الجيدة ، وتستخدم سـوائل التزييت لمنع الاحتكـاك وإطـالـة عمـر درافيل التشكيل . وتصنع الـدرافيل من سبـائك الصلب التى تتحمل التآكل .

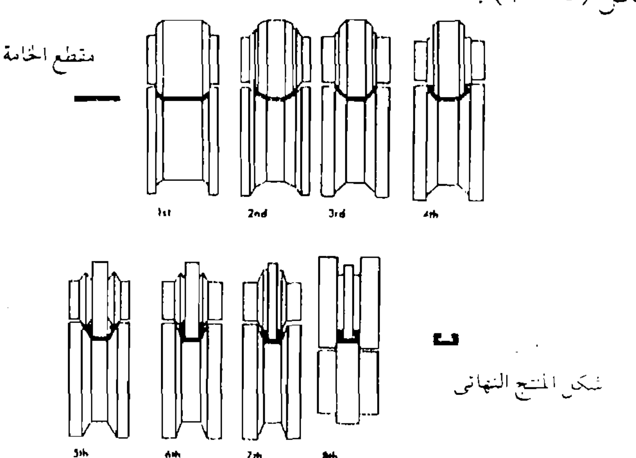


شكل (٥-١٩) بعض منتجات عمليات التشكيل على البارد للألواح والشرائط والرقائق

٥-٣-٥-١-أمثلة لعميات التشكيل على البارد للألواح والشرائط والرقائق المعدنية

تشكيل مقطع على هيئة علبة مجرى :

يتم الإنتاج للمقطع على عـدة مراحل ، بعدد ثمانية مجمـوعات من درافيل التشكيل ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٠) .



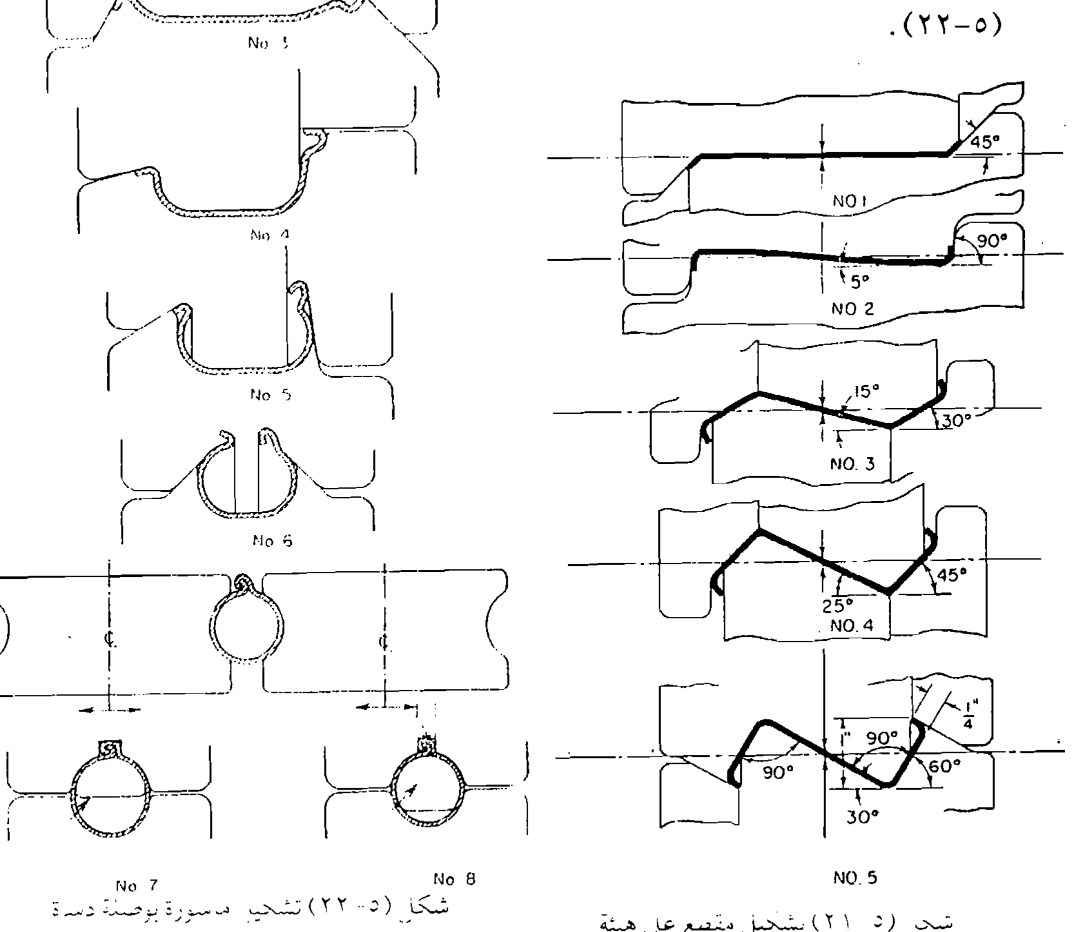
شكل (٥-٢٠) تشكيل مقطع على هيئة علبة مجرى على ٨ مراحل

تشكيل مقطع على هيئة حرف 'Z' :

يتم إنتاج المقطع على خمسة مراحل ، وتتكون كل مرحلة من درفلين بهما تجاويف دائرية على الأسطح تناسب الشكل المطلوب لكل مرحلة ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢١) .

تشكيل ماسورة بوصلة دسرة :

يتم إنتاج الماسورة على ثمانية مراحل ، بعدد ثمانية مجموعات من الدرافيل ، ويلاحظ أن المرحلة السادسة تتم بواسطة درفيلين أفقيين لعمل وصلة الدسرة ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٢) .



شكل (٥-٢١) تشكيل مقطع على هيئة حرف "Z" على ٥ مراحل

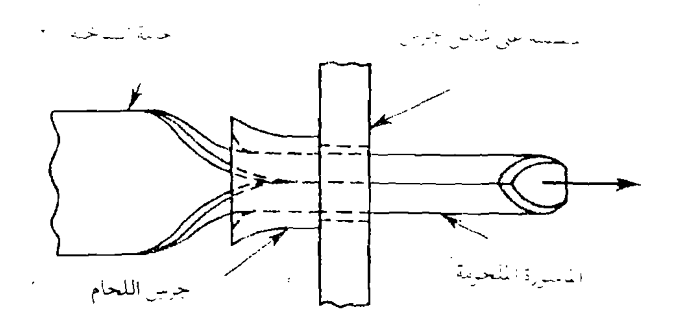
شكل (٥-٢٢) تشكيل ماسورة بوصلة دسرة على ٨ مراحل المرحلة السادسة تتم بدرفيلين أفقيين لعمل الدسرة

٥-٣-٦- تشكيل المواسير الملحومة من الألواح والشرائط

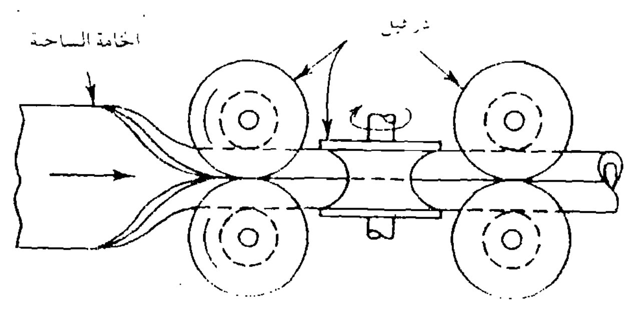
يجرى تشكيل المواسير الملحومة من الألواح والشرائط بعـدة طرق ، وفيما يلى ذكر طريقتين منهم :

١ - تشكل المواسير من ألـواح تم شطف جوانبهـا على زاوية بحوالى ٧° . تسخـن الألواح إلى درجة حرارة اللحام ، وتدخل الألواح فى اسطمبة على هيئة جرس ، ويتم شد الماسورة من النـاحيـة الأخرى لـلأسطمبـة ، والتى يتم فيهـا تشكيل الماسـورة والضغط على الجوانب المشطوفة ولحام المـاسورة باللحام التناكبى ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٣) .

٢ - تشكل المواسير باستخـدام مجموعات من الـدرافيل بها تجاويف دائرية ، تمر فيهـا الألواح بعـد تسخينها ، ويتم بهذا الأسلـوب تشكل الألـواح إلى مواسير ، ويتم لحامهـا بطريقـة اللحام التناكبى المستمر ، وكما هو موضح فى شكل (٥-٢٤) .



شكل (٥-٢٣) تشكيل المواسير الملحومة باستخدام اسطمبة على هيئة جرس



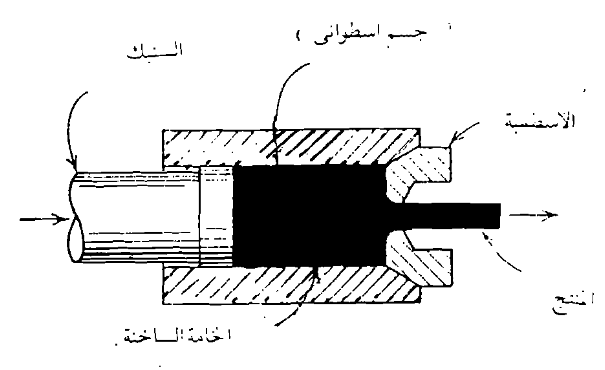
شكل (٥-٢٤) تشكيل المواسير بالدرفلة مع اللحام التناكبى المستمر

٥-٤- البثق (EXTRUSION)

البثق هو عملية تشكيل لدن للمعادن ، وتتم باستخدام ضغط كبير على الخامة ، مما يؤدى إلى تشكيل وخروج - بثق - المعدن من الاسطمبة التى بها فتحة تحدد شكل مقطع المنتج المطلوب ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٥) . ويمكن تشبيه عملية البثق بما يتم عند رفع غطاء فتحة أنبوبة معجون الأسنان ، ثم الضغط على الأنبوبة ، مما يؤدى إلى خروج - بثق - المعجون منها . وغالبًا تتم عملية بثق المعادن على الساخن ، كما أنه فى بعض الأحيان تجرى على البارد .

وعادة تكون خامة المعدن الذى تتم عليها عملية البثق أسطوانية الشكل ، وتوضع فى أسطوانة ذات جدار قوى ليتحمل الضغوط الكبيرة المستخدمة . ويتم الضغط على الخامة من خلال كباس ، ويمكن الحصول على الضغوط المطلوبة هيدروليكيا وميكانيكيًا .

ويستخدم البثق فى إنتاج الأعمدة والقضبان والمواسير والمقاطع المختلفة ، من خامات الألومنيوم والنحاس والزنك والرصاص والصلب وسبائكها وغيرها . وتمتاز منتجات عملية البثق بالدقة فى الأبعاد ، كما أنها ذات نعومة سطح جيدةفى حالة البثق على البارد ، بالإضافة إلى عدم الحاجة فى كثير من الحالات إلى عمليات تشغيل لاحقة .



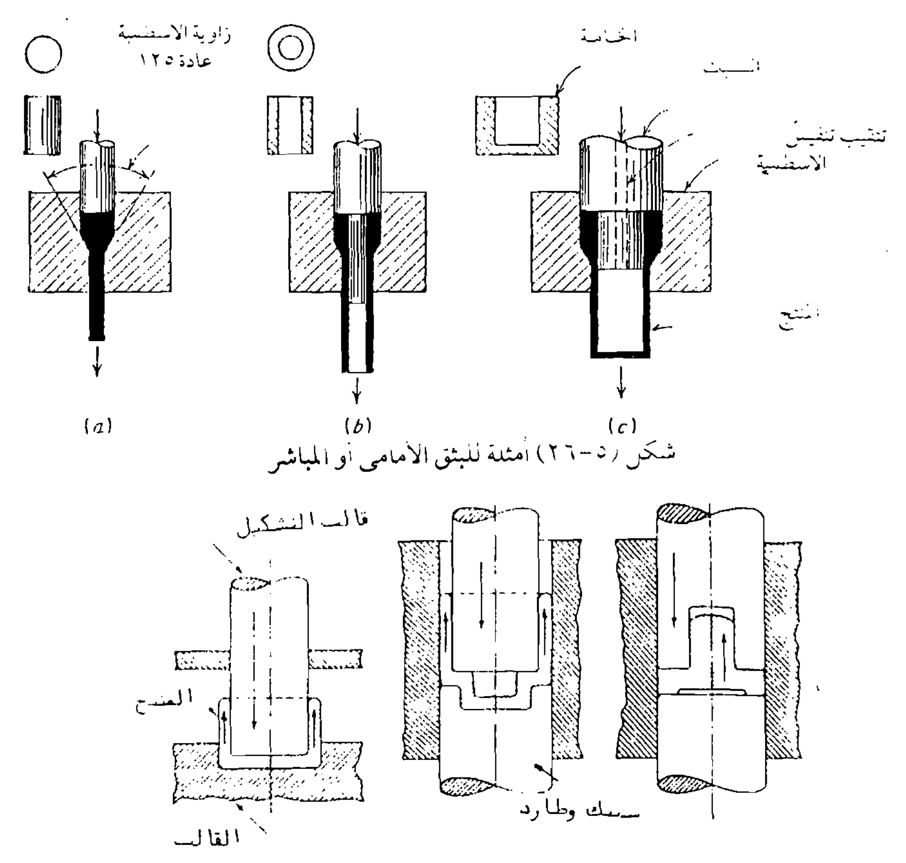
شكل (٥-٢٥) عملية البثق

٥-٤-١- أنواع عمليات البثق

الأنواع الرئيسية لعمليات البثق تشمل الآتى :

i - البثق الأمامى أو المباشر (Forward or Direct Extrusion)

يتم الحصول على المنتج نتيجة لتحرك المعدن أثناء التشكيل وخروجه من الاسطمبة فى نفس اتجاه حركة الكباس ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٦) .



شكل (٥-٢٦) أمثلة للبثق الأمامى أو المباشر

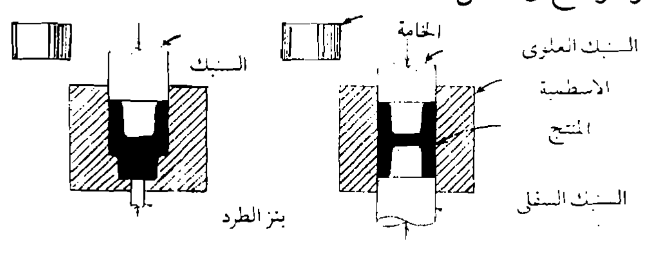
شكل (٥-٢٧) أمثلة للبثق العكسى أو غير مباشر

ii - البثق العكسى أو غير مباشر (Backward or Indirect Extrusion)

يتم الحصول على المنتج نتيجة لتحرك المعدن أثناء التشكيل وخروجه من الاسطمبة فى عكس إتجاه حركة الكباس ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٧) .

iii - البثق المشترك (Combined Extrusion)

يتم الحصول على المنتج نتيجة لتحرك المعدن أثناء التشكيل فى إتجاهى حركة الكباس وعكسها ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٨).



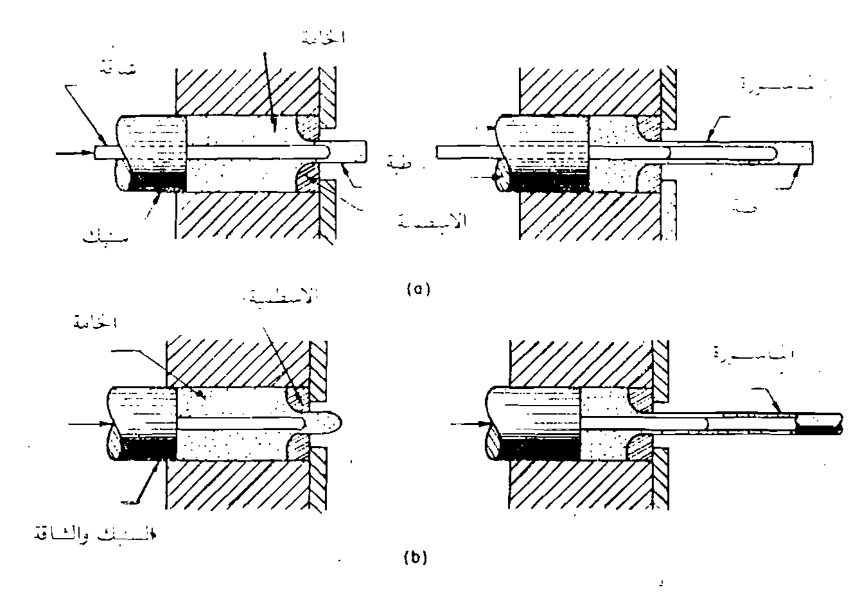
شكل (٥-٢٨) أمثلة للبثق المشترك

iv - بثق المواسير (Tube Extrusion)

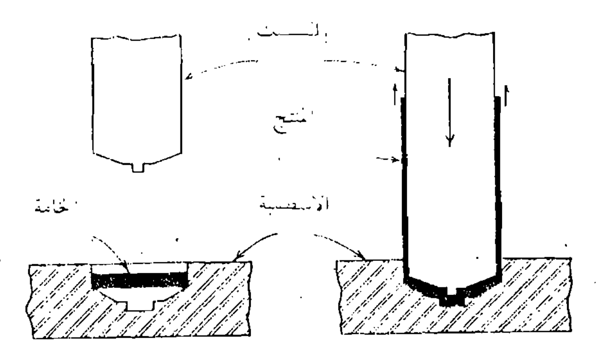
يتم الحصول على المواسير إما بتحريك شاقة أو تثبيتها بالكباس ، ويتم أثناء عملية البثق مرور الشاقة بفتحة الاسطمبة ، ويحدد الفراغ الموجود بين فتحة الاسطمبة وقطر الشاقة سمك جدار المواسير المطلوبة ، كما هو موضح فى شكل (٥-٢٩) .

v - البثق بالصدم (Impact Extrusion)

يتم الحصول على المنتج بتنفيذ صدمة سريعة على خامة المعدن ، كما هو موضح فى شكل (٥-٣٠).



شكل (٥-٢٩) طريقتين لبثق المواسير باستخدام شفة داخلية

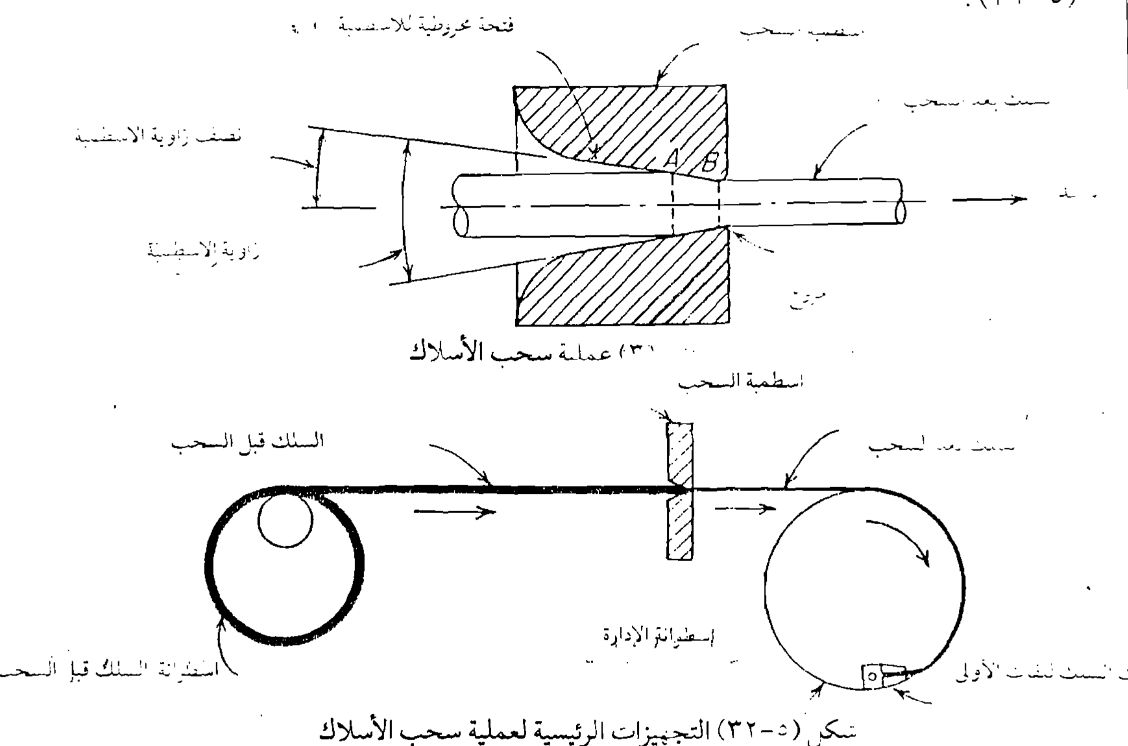


شكل (٥-٣٠) البثق بالصدم

٥-٥ سحب الأسلاك (WIRE DRAWING)

سحب الأسلاك هو عملية تشكيل لدن للمعادن ، وتكون على البارد . ويتم بواسطتها تخفيض قطر ومساحة مقطع السلك ، وتجرى بشد السلك من داخل اسطمبة ذات فتحة دائرية بقطر السلك المطلوب ، كما هو موضح فى شكل (٥-٣١) . ويكون تخفيض مقطع السلك نتيجة لاستخدام اسطمبة ذات مقطع داخلى مسلوب - متناقص تدريجيًا ، حيث تتم عملية التشكيل للسلك فى الجزء المسلوب من الاسطمبة .

وتبدأ عملية سحب الأسلاك بأخذ طرف السلك المطلوب تخفيض مقطعه من لفة أسطوانة السلك قبل السحب ، ثم يدبب هذا الطرف ، ويتم مروره داخل الاسطمبة ، ثم يثبت فى أسطوانة السحب التى يتم دورانها ، فتتم عملية السحب للسلك ، كما هو موضح فى شكل (٥-٣٢) .

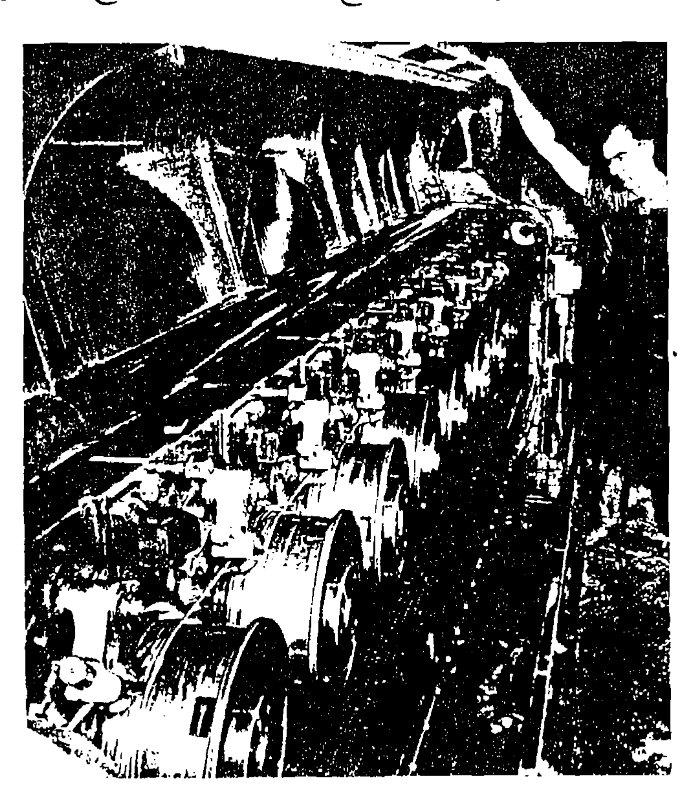


٣١) عملية سحب الأسلاك

شكل (٥-٣٢) التجهيزات الرئيسية لعملية سحب الأسلاك

ويمكن بواسطة عملية سحب الأسلاك الحصول على أسلاك دقيقة بأقطار يمكن أن تصل كحد أدنى إلى ٠,٠٠٢مم ، وذلك من أسلاك بأقطار تصل بحد أقصى إلى ٨مم قبل السحب . كما أنه ممكن سحب القضبان الدائرية المقطع بقطر ١٠٠مم ، والمقاطع التى على

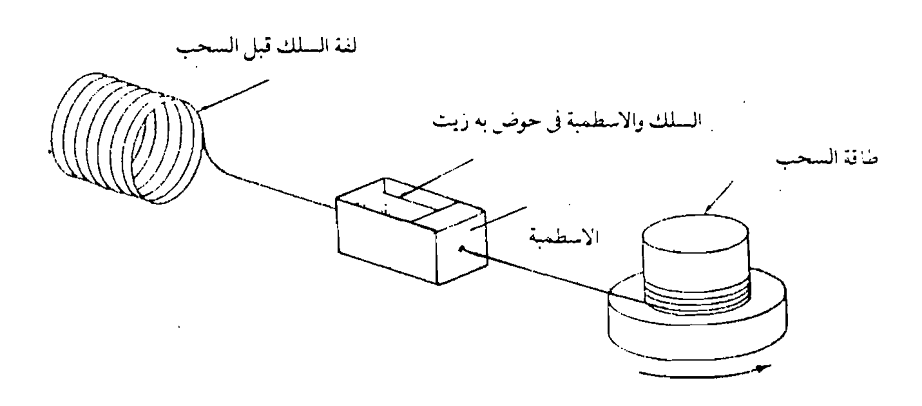
شكل مربع ومسـدس ومثمن وغيرها . وفى حالة التخفيض الكبير فى مسـاحة مقطع السلك ، ممكن أن يتم التخفيض على عدد من المراحل المتتالية ، بحيث يمر السلك فى كل مرحلة داخل سطمبة يتم فيها تخفيض نسبة من مساحة مقطع السلك ،كما هو موضح فى شكل (٥-٣٣) .



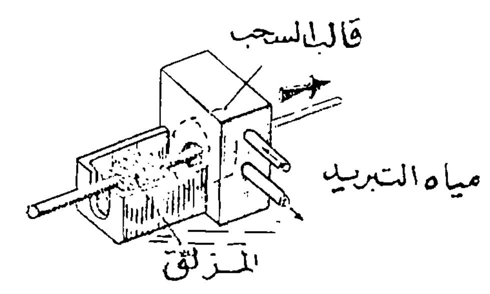
شكل (٥-٣٣) سحب الأسلاك على عدد من المراحل المتتالية

وممكن سحب الأسـلاك من خامـات الألومنيـوم والنحاس والصلب وغيرهـا . ولتفادى الاحتكاك الكبير بين السلك والاسطمبة أثناء عملية سحـب الأسلاك ، والذى يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الاسطمبة وتآكلها ، فإنه يتم وضع السلك والاسطمبة بأكملهما فى حوض به سائل للتزييت ، أو مرور السلك فى حوض به خليط للتشحيم على شكل بودرة وتغطى السلك بطبقة منه قبل مروره فى الاسطمبة ، كما هو موضح فى الشكلين (٥-٣٤) ، (٥-٣٥) .

ونتيجـة لعملية التشكيل على البـارد للسلك أثنـاء عملية السحب ، وفى حـالة إذا كـان التخفيض كبير فى مسـاحة المقطع ، فإن السلك يتصلـد لدرجـة مرتفعـة مما يـؤدى إلى كسره ، ولتفادى ذلك يتم عمل معالجة حراريـة تخمير للسلك بين مراحل السحب المتتالية . ويجب أن



شكل (٥-٣٤) غمس السلك والاسطمبة فى حوض من الزيت للتشحيم أثناء السحب

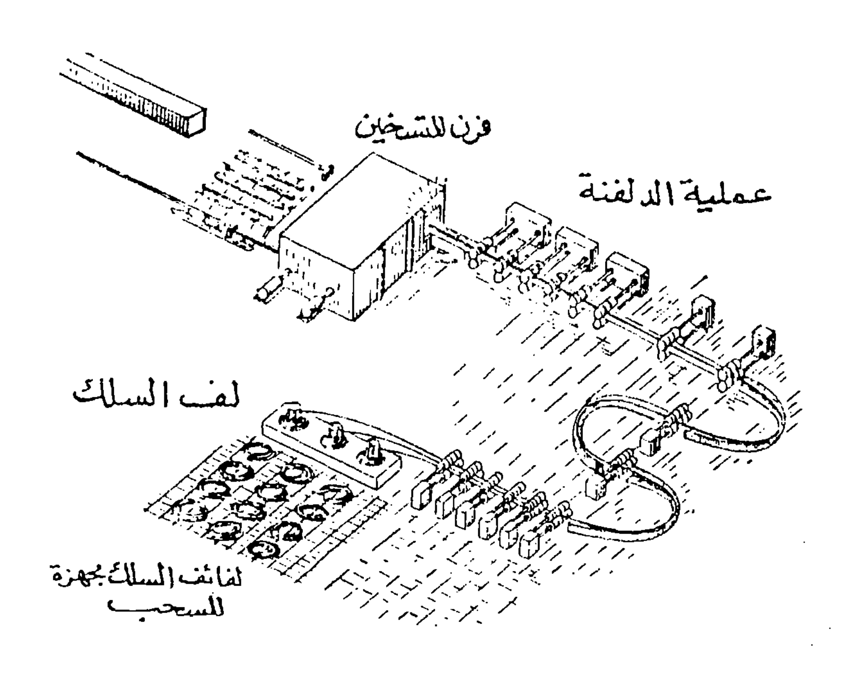


شكل (٥-٣٥) عملية تغطية السلك بمادة التشحيم قبل مروره فى الاسطمبة، وتبريد الاسطمبة بالمياه

تكون المواد التى تصنع منها اسطمبات سحب الأسلاك مقاومة للحرارة والتآكل . وحسب حالات الاستخدام ممكن أن تصنع الاسطمبات من سبائك الصلب أو كربيد التنجستين أو الماس . كما أنه ممكن عمل نظام لدورة لتبريد الاسطمبات بالمياه أثناء عملية سحب الأسلاك .

٥-٥-١- خطوات تصنع الأسلاك من الصلب

لتصنيع الأسلاك من الصلب ، يتم تسخين كتل الصلب فى فرن التسخين ، ثم تجرى عملية التشكيل للكتل بالدرفلة على عدد من مجموعات الدرافيل ، حتى يتم الحصول على أسياخ بقطر حوالى ٥مم ، ثم يتم معالجتها حراريًا بالتخمير ، وتنظيفها من قشور الأكاسيد ، ويدبب طرف السيخ ، ويمرر بالتتالى داخل اسطمبات سحب الأسلاك ، ويتم استخدام قوة الشد اللازمة لعملية السحب حسب القطر المطلوب ، كما موضح فى شكل (٥-٣٦) .

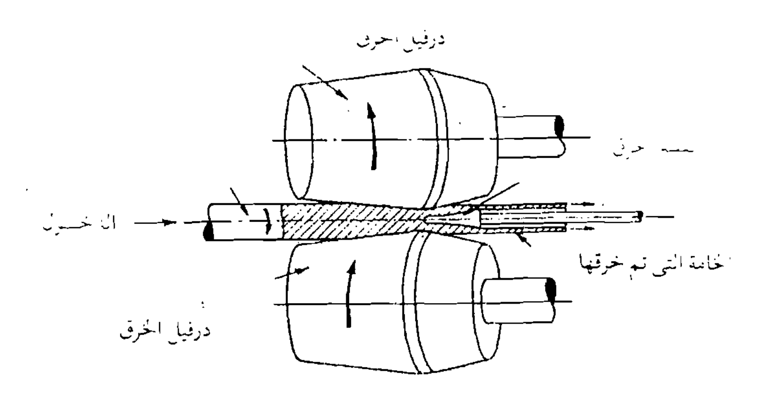


شكل (٥-٣٦) خطوات تصنيع الأسلاك من الصلب

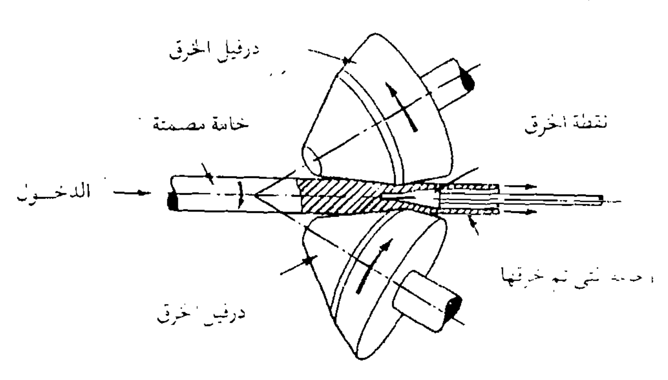
٥-٦- سحب المواسير (TUBE DRAWING)

عملية سحب المواسير تشـابهة عملية سحب الأسـلاك ، ويتم فى عملية سحب المواسير تصغير القطـر الخارجى للماسـورة أو تصغير القطـــر وسمك الجدار . وتجرى عمليـة التشكيل اللـدن للمـواسير على البارد ، ويتـم تصلد المعـدن وتحسين نعـومـة السطح . ويمكن سحب المواسير من خامات الألومنيوم والنحاس والصلب وسبائكهما وغيرها .

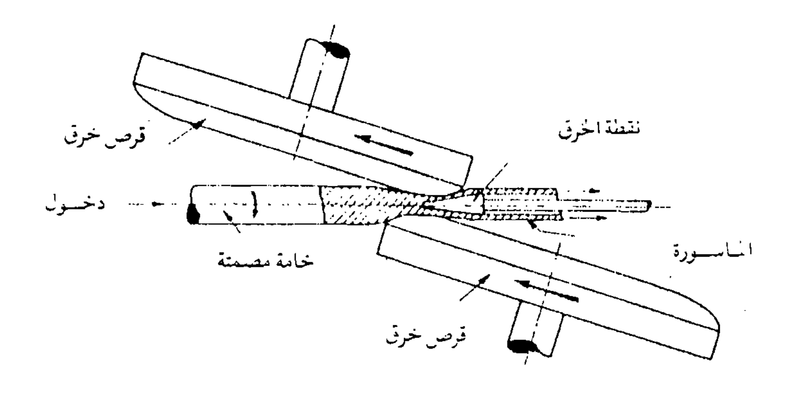
وتستخدم عملية سحب المواسير للحصول على مواسير بأقطار وأبعاد محددة ، وذلك من مواسير سبق إنتاجها بعملية البثق أو طريقة مانزمان (Mannesman) كما هو موضح فى شكل (٥-٣٧) ، أو بـدرافيل مخروطيـة ٦٠° كما هو مـوضح فى شكل (٥-٣٨) ، أو بـدرافيل ستيفل (Stiefel) كما هو مـوضح فى شكل (٥-٣٩) ، أو بدرافيـل بيلجر (Pilger) كما هو مـوضح فى شكل (٥-٤٠) .



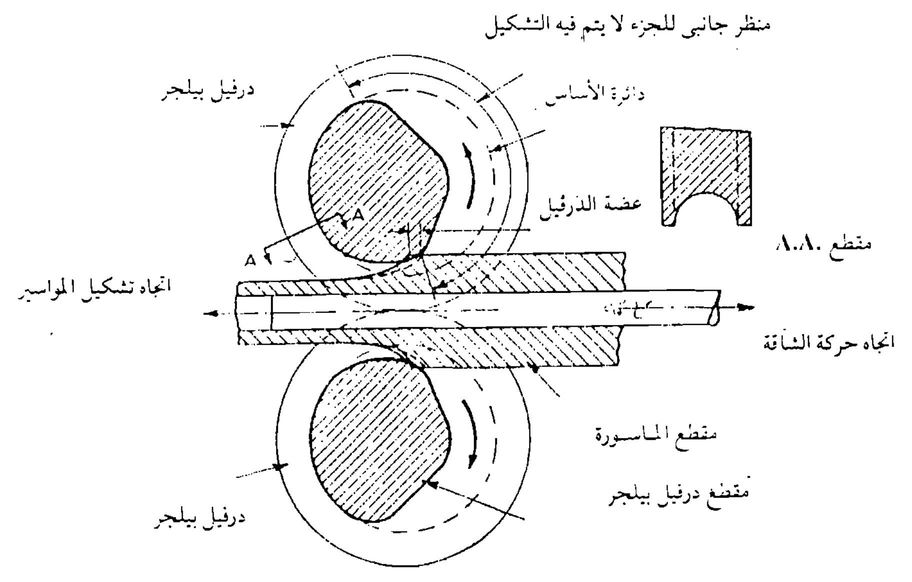
شكل (٥-٣٧) طريقة مانزمان لتشكيل المواسير غير ملحومة



شكل (٥-٣٨) طريقة الدرافيل المخروطية ٦٠° لتشكيل المواسير غير ملحومة



شكل (٥-٣٩) طريقة ستيفل لتشكيل المواسير غير ملحومة

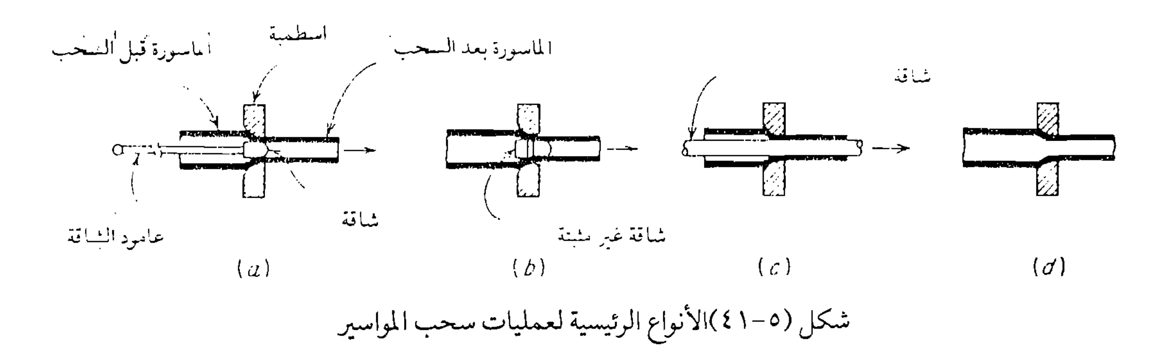


شكل (٥-٤٠) طريقة درافيل بيلجر لتشكيل المواسير غير ملحومة

ويمكن أن يتم بين عمليات السحب المتتالية للمواسير معالجة حرارة تخمير، بهدف تحسين المطيلية أثناء عملية التشكيل للمواسير. وتصنع اسطمبات سحب المواسير من مواد مقاومة للحرارة والتآكل مثل سبائك الصلب وكربيد التنجستين والماس. ويتم استعمال سوائل للتزييت لمنع الاحتكاك وإطالة عمر الاسطمبة. ويمكن الحصول على المواسير بأقطار تتراوح بين ٠١, ٠٪ و ٤٠٠مم.

أنواع عمليات سحب المواسير

يوضح شكل (٥-٤١) الأنواع الرئيسية لعمليات سحب المواسير والتى تشمل الآتى :



شكل (٥-٤١)الأنواع الرئيسية لعمليات سحب المواسير

i- سحب المواسير بدون شاقة (Tube Drawing Without Internal Support-Sinking)

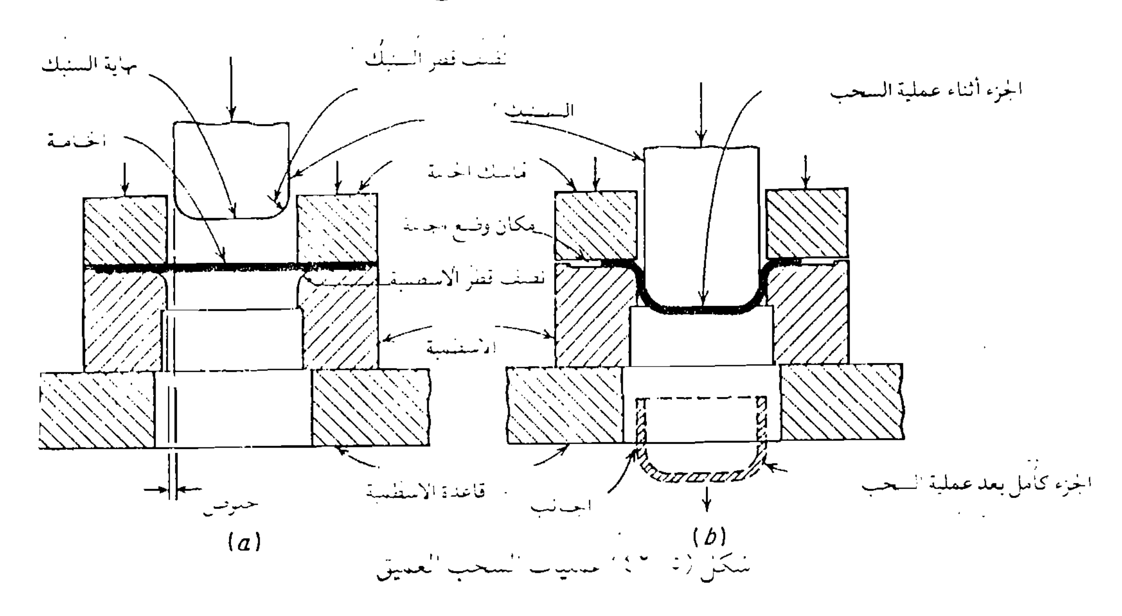
ii - سحب المواسير باستخدام شاقة (Tube Drawing Using Internal Supportb by Mandrel)

iii - سحب المواسير باستخدام شاقة متحركة (Tube Drawing Using Internal Support by Floating Mandrel)

iv - سحب المواسير باستخدام شاقة ثابتة (Tube Drawing Using Internal Support by Fixed Mandrel)

٥-٧- السحب العميق (DEEP DRAWING)

السحب العميق هو تشكيل لدن لـلألواح والشرائط المعدنية ، ويتم بـواسطتها الحصول على أشكـال مجوفـة منتظمـة أو غير منتظمـة . وتجرى عمليـة السحب العميق بـوضع الخامـة المعدنية المطلوب سحبهـا ، وممكـن أن تكـون على هيئـة قـرص ، وبسمك معين ، على سطح اسطمبـة ذات تجويف مطـابق لشكل الجزء المطلـوب بعـد عمليـة السحب . ويتم استخـدام ماسك للخـامة لمنع حدوث كرمشة لها أثنـاء عملية السحب ، ويتم استخدام ماسـك للخامة لمنع حدوث كرمشة لها أثنـاء عملية السحب ، ويتم دفع السنبك على الخامة لتدخل فى تجويف الاسطمبة ، لكى تأخذ شكل الجزء المطلوب ، كما هو موضح فى شكل (٥-٤٢) .

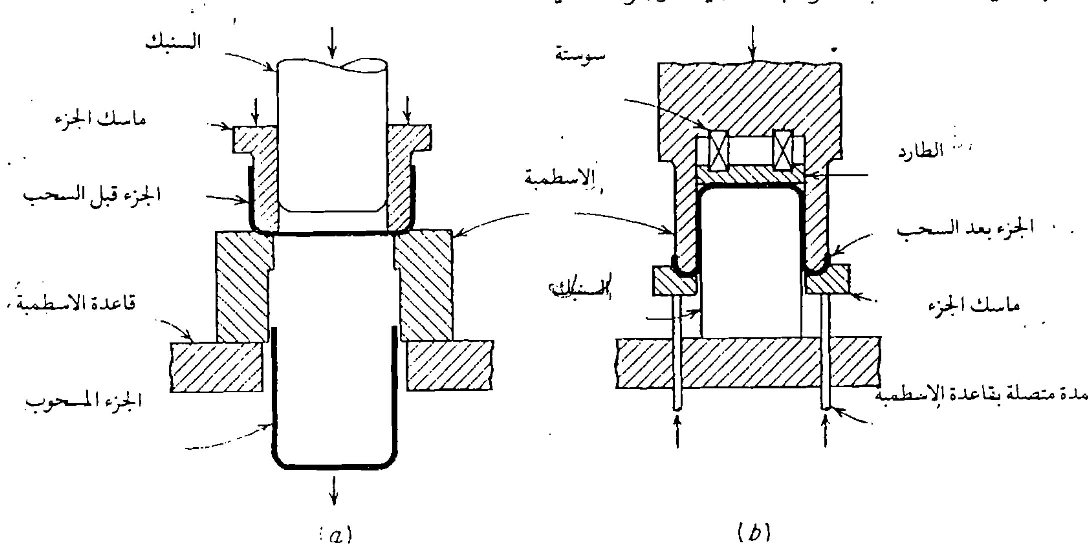


شكل (٥-٤٢) عمليات السحب العميق

وممكن أن يتم إجراء عمليات إعـادة للسحب للأجزاء المجوفـة التى تم الحصول عليها ، وذلك لتصغير مقطعهـا وللحصـول على منتجـات أطـول ، أو عمل تغيير فى الشكل ، كما هـو موضح فى شكل (٥-٤٣) . وممكن أن تحتاج الأجزاء التى يتم إعـادة سحبها إلى عملية معـالجة حـرارية تخمير ، للتخلص من التصلـد الـذى حدث لها نتيجـة عمليـات السحب المتتاليـة . ويكون السحب العميق لمعادن الألومنيوم والنحاس والصلب وسبائكها وغيرها .

ويـلاحظ أن عمليات السحب العميق ممكـن أن تتم على الساخن وعلى البـارد ، حسب نوع المعدن الذى يتم تشكيله وسمكه ومطيليته . كما أنه يستخدم فى بعض الحالات أنواع معينة

من زيوت التشحيم لتسهيل عملية السحب وحماية الأسطح . والأجزاء التى يتم تصنيعها بعمليات السحب تكون بدقة جيدة وجودة عالية .



شكل (٥-٤٣)عملية إعادة السحب العميق

وخامات الاسطمبات والسنابك المستخدمة فى عمليات السحب العميق ، تكون من الصلب السبائكى ، وتتحمل الإجهادات العالية ، ومقاومة للتآكل والحرارة . ويمكن بعمليات السحب العميق وباستعمال ماسك الخامة ، أن يتم سحب الأقراص وتشكيلها إلى أوعية ، وبحيث لا يزيد قطر الخامة عن حوالى ٢ , ٢ مرة قطر السنبك . وتستخدم فى الغالب المكابس الهيدروليكية والمكابس الميكانيكية فى عمليات السحب العميق .

والمنتجات التى يتم الحصول عليها بواسطة عمليات السحب العميق عديدة مثل هياكل وأجزاء السيارات والطائرات ، وأجسام الثلاجات والغسالات والسخانات ، وأوعية الطهى ، والأحواض المنزلية ، وأسطوانات تعبئة الغازات السائلة تحت الضغوط العالية ، وأغلفة الطلقات والقذائف النارية وغيرها .

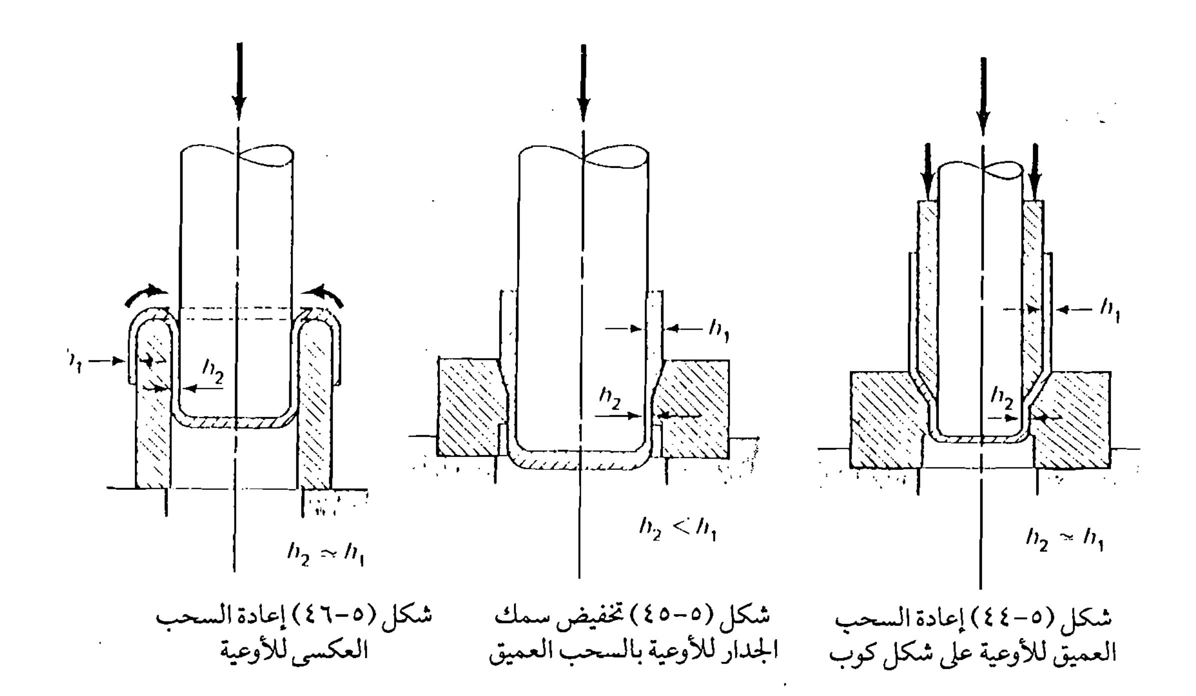
٥-٧-١- أنواع عمليات السحب العميق

الأنواع الرئيسية لعمليات السحب العميق تشمل الآتى :

١ - إعادة السحب للأوعية على شكل كوب ، كما هو موضح فى شكل (٥-٤٤) .

٢ - تخفيض سمك الجدار للأوعية ، كما هو موضح فى شكل (٥-٤٥) .

٣ - إعادة السحب العكسى للأوعية ، كما هو موضح فى شكل (٥-٤٦) .



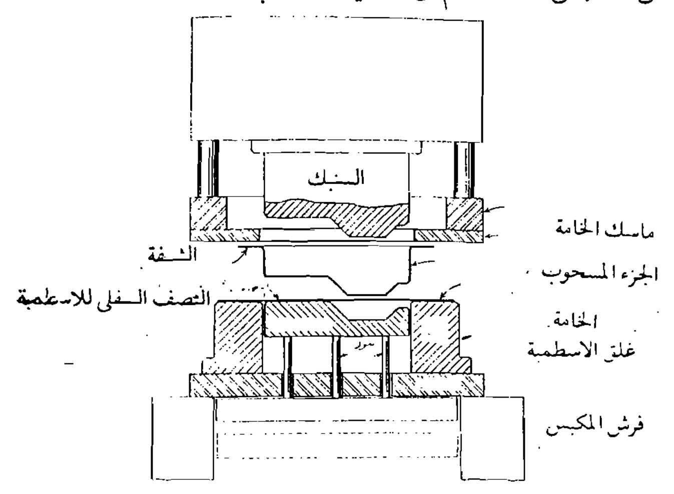
شكل (٥-٤٤) إعادة السحب العميق للأوعية على شكل كوب

شكل (٥-٤٥) تخفيض سمك الجدار للأوعية بالسحب العميق

شكل (٥-٤٦) إعادة السحب العكسى للأوعية

٥-٧-٢- مثال لإنتاج جزء بالسحب العميق

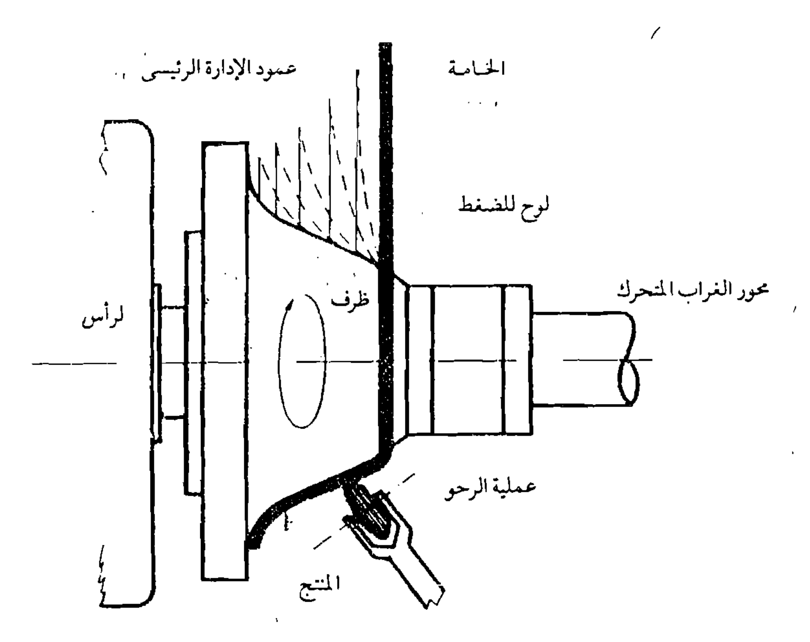
يوضح شكل (٥-٤٧) التجهيزة الكاملة لعملية السحب العميق لإنتاج جزء غير منتظم بفلنشة ، ويبين الخامة قبل عملية التشكيل ، والاسطمبات ، والسنبك ، والماسك ، والجزء العلوى والجزء السفلى من المكبس المستخدم فى عملية السحب .



شكل (٥-٤٧) التجهيزة الكاملة لعملية السحب العميق لإنتاج جزء غير منتظم بفلنشة

٥-٨- الرَحْـــو (SPINNING)

الـرحو هـو عملية تشكيل لـدن ، وتكون على البـارد أو الساخن . وتجرى عمليـة الرحـو بـاستخـدام أداة تشكيـل ، للضغط على الخامـة ، التى تـوضع على نمـــوذج يمثل شكل الجزء النهائى المطلوب للمنتج . وتتم عملية التشكيل بالرحو أثناء دوران الخامة والنموذج ، وكما هو موضح فى شكل (٥-٤٨) .



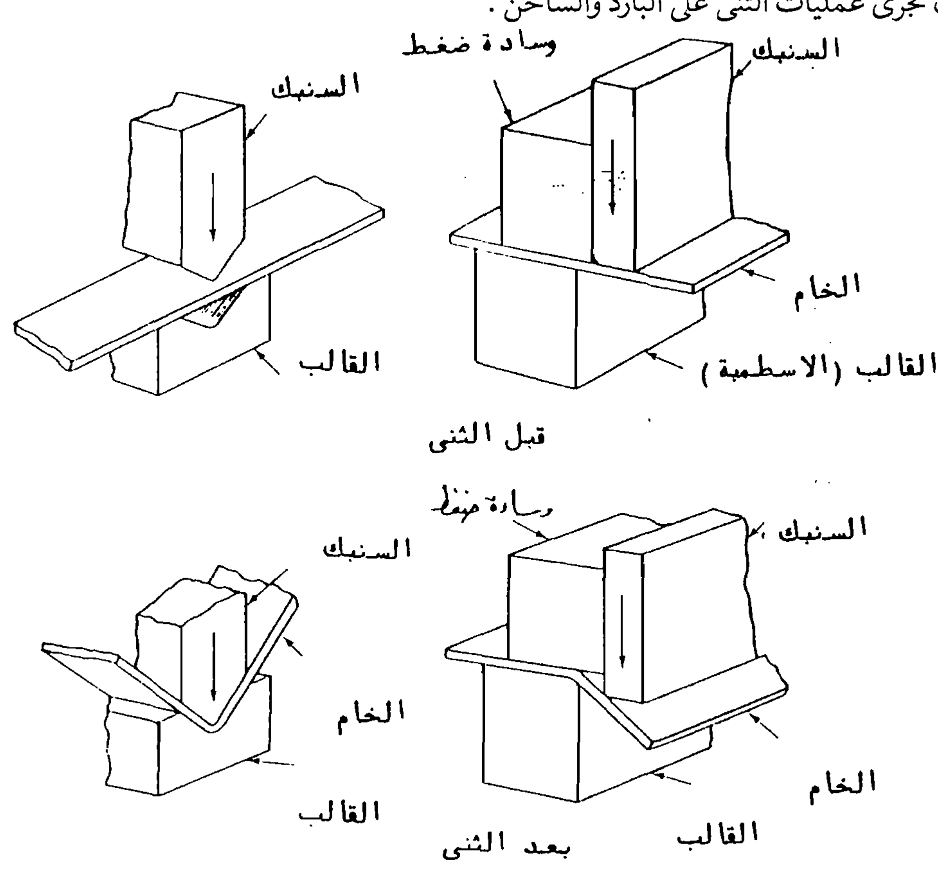
شكل (٥-٤٨) عملية الرَحْو

وطبيعة عملية التشكيل بالرحو تجعلهـا قاصرة على إنتاج الأجزاء متماثلة الشكل ، وتكون الخامـات المستخـدمـة فى الغـالـب على هيئـة أقـراص مسطحـة . وتشمل المنتجـات التى يتم الحصول عليها بـواسطة عملية الرحو ، الأوعيـة المنزلية ، والأجهزة العـاكسة ، وأجزاء المراوح ، والنهايات الأسطوانية للغلايات والصهاريج ، وما شابهه .

والماكينـة التى تتم عليها عمليـة الـرحو تشبـه إلى حـد مـا المخرطـة ، حيث يجرى تثبيت النمـوذج الذى يمثل شكل الجزء النهـائى المطلوب ، فى مكـان مماثل لظـرف المخرطـة ، ويتم التحكم فى تلامس الخامة للنموذج بواسطة جـزء مماثل للغراب المتحرك . وتوضع آله التشكيل التى تقوم بالضغط على الخامة فى مكان ممـاثل للعربة . ويصنع النموذج من الخشب الصلد أو من الصلب . وتجرى عملية الرحو على معادن الألومنيوم والنحاس والصلب وسبائكها وغيرها.

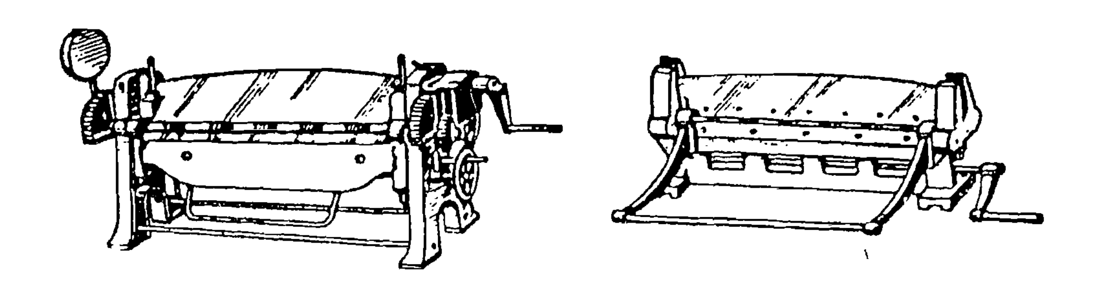
٥-٩- الثنى (BENDING)

الثنى هو عملية تشكيل لدن للمعادن ، حول محور طولى ، كما هو موضح فى شكل (٥-٤٩) ، مع حدوث تغيير قليل فى مساحة السطح أو عدم حدوث ذلك فى الجزء الذى يتم عليه عملية الثنى . ويمكن ثنى معادن الألومنيوم والنحاس والصلب وسبائكها وغيرها . ويمكن أن تجرى عمليات الثنى على البارد والساخن .

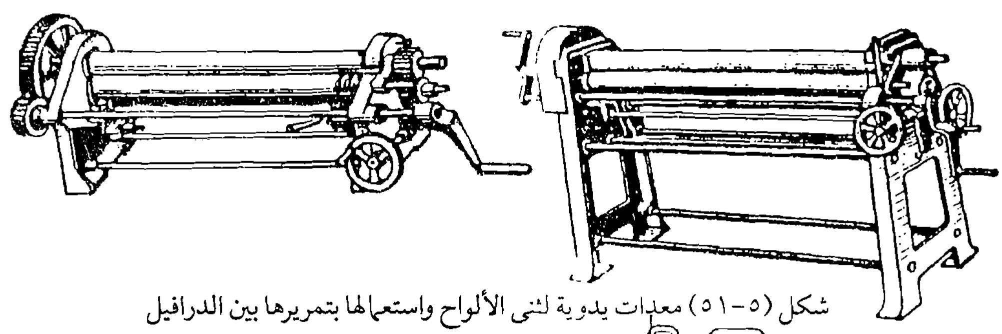


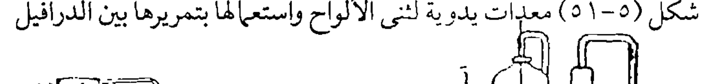
شكل (٥-٤٩) تفاصيل عملية ثنى الألواح

ويوضح شكل (٥-٥٠) معدات الثنى اليدوية والخاصة بثنى الألوح حول حافة مستقيمة ، كما يبين شكل (٥-٥١) معدات ثنى واستعدال للألواح تعمل باليد باستخدام الدرافيل ، ويوضح شكل (٥-٥٢) مكبس هيدروليكى يعمل باليد فى عمليات الثنى والاستعدال . ويوضح شكل (٥- ٥٣) مكبس هيدروليكى يستخدم فى تشكيل الألواح إلى قطاعات باستعمال السنبك والاسطمبة .

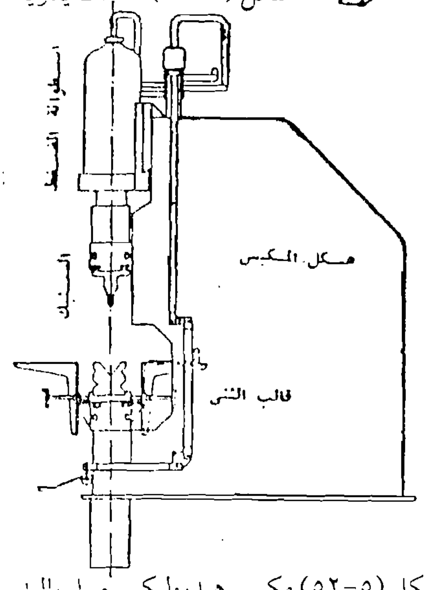


شكل (٥-٥٠) معدات يدوية لثنى الألواح حول حافة مستقيمة

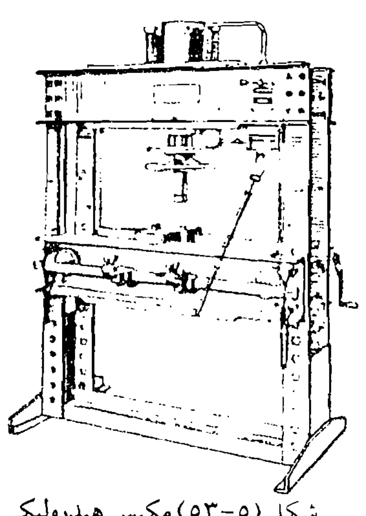




شكل (٥-٥١) معدات يدوية لثنى الألواح واستعمالها بتمريرها بين الدرافيل



شكل (٥-٥٢) مكبس هيدروليكى يعمل باليد



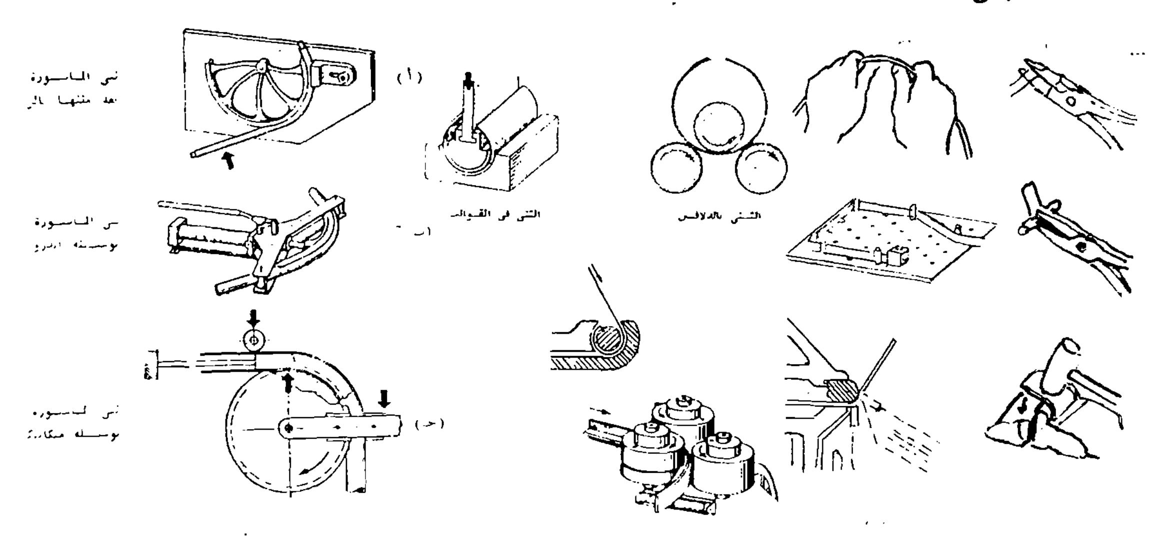
شكل (٥-٥٣) مكبس هيدروليكى لثنى الألواح إلى قطاعات

٥-٩-١- أنواع عمليات الثنى

يوضح شكل (٥-٥٤) أمثلة لعمليات الثنى البسيطة ، كما يبين شكل (٥-٥٥) أمثلة لعمليات ثنى الألواح بالدرافيل ، والسنبك ، واسطمبات الثنى ، وثنى القطاعات ، وممكن عمل المعالجة الحرارية التخمير للمنتجات نتيجة للإجهادات الداخلية الناشئة عن عملية الثنى .

ويوضح شكل (٥-٥٦) عـدد ثلاث عمليـات لثنى المواسير ، ويلاحظ أن ثنى المواسير أصـعب من ثنى الألواح ، لأن المواسير مجـوفة ، وعند الثنى ممكن أن يحـدث تشـويه للمقطع ، وإتلاف لـلاستدارة ، ويتطلب ذلك أن تتخذ عـدة احتياطات ، منهـا التسخين الموضعى عند مكان الثنى ، وملئ الماسورة بالرمل ، وإحكام غلقها عند طرفيها قبل عملية التشكيل .

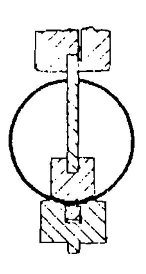
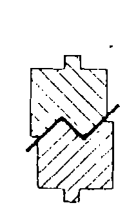
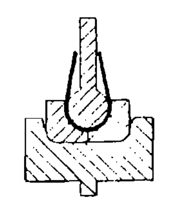
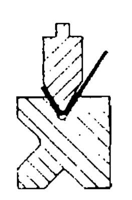
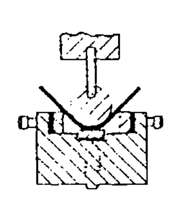
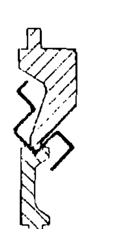
ويـوضح شكل (٥-٥٧) بعض عمليـات الثنى باستخـدام الاسطمبـات والتى تتم على المكابس .



شكل (٥-٥٤) أمثلة لبعض عمليات ثنى البسيطة

شكل (٥-٥٥) أمثلة لعمليات ثنى الألواح والقطاعات

شكل (٥-٥٦) بعض عمليات ثنى المواسير

شكل (٥-٥٧) بعض عمليات الثنى باستخدام الاسطمبات

٥-١٠- تشكيل مساحيق المعدن - ميتالورجيا المساحيق

(POWDER METALLURGY)

تسمى عملية تشكيل مساحيق المعادن باسم ميتالورجيا المساحيق . ويتم الحصول على المنتجات بضغط مساحيق المعادن داخل اسطمبات ، ثم معالجة المساحيق حراريًا لتحسين كثافتها ومتانتها ، وقد يتم تجميع عمليتى الضغط والمعالجة الحرارية فى عملية واحدة تسمى الضغط على الساخن ، مع ملاحظة أن تكون درجة حرارة المسحوق أقل من درجة انصهاره . ويطلق على عملية استخدام الحرارة سواء كانت أثناء عملية الضغط أو بعدة اسم عملية التلبيد .

ويمكن إضافة بعض العناصر المعينة لتحسين جودة ترابط جسيمات المسحوق ، أو لتحسين خواص معينة للجزء المنتج . وكمثال لذلك يمكن إضافة الكوبلت إلى جسيمات كربيد التنجستين لتحسين ترابطها ، وإضافة الجرافيت إلى مساحيق معادن الكراسى لتحسين خواص هذه الكراسى .

٥-١٠-١- خطوات إنتاج الأجزاء بميتالورجيا المساحيق

العمليات التكنولوجية الأساسية اللازمة للحصول على منتجات ميتالورجيا المساحيق تتلخص كما هو موضح فى شكل (٥-٥٨) فى الآتى :

١ - الحصول على مساحيق المعادن النقية ، أو مساحيق السبائك التى لها تركيب كيميائى معين خواص تكنولوجية لازمة ، مع أى إضافات أخرى للتزييت والربط .

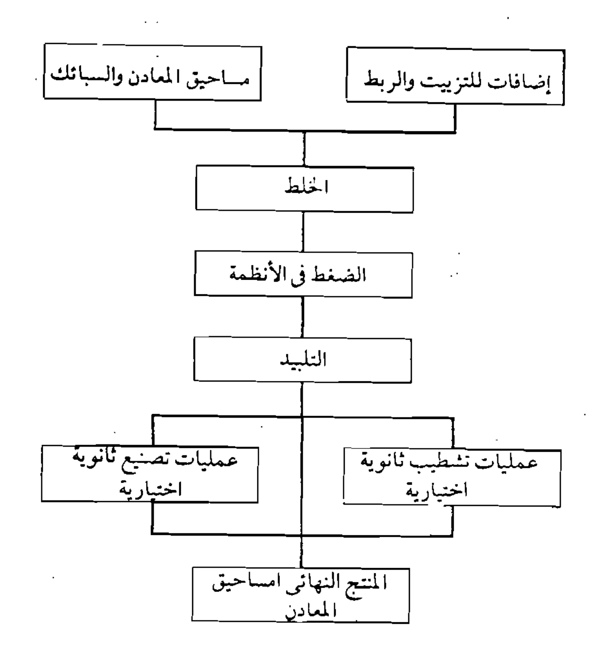
٢ - خلط المساحيق المختلفة والإضافات حسب ما هو مطلوب .

٣ - ضغط المساحيق داخل اسطمبات للحصول على الأجزاء بالشكل والأبعاد التقريبية للمنتج النهائى .

٤ - تلبيد الأجزاء التى تم ضغطها لكى تكتسب المتانة ، والخواص الفيزيائية الكيميائية اللازمة .

٥ - العمليات النهائية للجزء للحصول على شكل وأبعاد المنتج النهائى .

٦ - الغمس فى الزيت للأجزاء ، فى حالة حاجة الاستخدام ذلك .



شكل (٥-٥٨) خطوات إنتاج الأجزاء بميتالورجيا المساحيق

٥-١٠-٢- مواصفات مساحيق المعادن المطلوبة

تنتج مساحيق المعادن طبقًا لمواصفات معينة تحدد ما يلى :

١ – درجة النعومة ، ويتم ذلك بإمرار المسحوق خلال مناخل قياس ، أو باستعمال الميكروسكوب .

٢ – نسب وجود مقاسات مختلفة للحبيبات فى المسحوق الواحد ، وهذا يؤثر على الإنسيابية ، ومسامية الجزء المنتج .

٣ – شكل الحبيبات ، وقد تكون كروية أو مسطحة أو مدببة أو قشرية ، ويعتمد ذلك على الطريقة التى تم بها الحصول على المسحوق .

٤ – الإنسيابية ، وهى مدى سهولة الحركة للمسحوق داخل فجوة الاسطمبة ، والتشكل بشكلها .

٥ – خواص المسحوق الكيميائية ، وهى تحدد درجة نقاوة المسحوق ، ومقادير الأكاسيد فيه ، والنسبة المئوية للعناصر الأخرى المسموح بوجودها .

٦ – قابلية المساحيق للانضغاط ، ويتعلق ذلك بشكل الحبيبات ، ونسبة وجود مقاسات مختلفة منها .

٧ – خواص المسحوق بالنسبة لعملية التلبيد ، ويطلق عليه خواص المسحوق التلبيدية .

٥-١٠-٣- طرق الحصول على مساحيق المعادن

يتم الحصول على مساحيق المعادن بالطرق الميكانيكية أو الكيميائية أو الفيزيائية وكما يلى :

الطرق الميكانيكية :

تشمل استخدام ماكينات التشغيل ، والقذف ، والطحن ، والرش ، والتحبيب ، والأقراص والسيور الدوارة .. إلخ .

الطرق الكيميائية :

وتشمل طريقة الاختزل ، والترسيب الكهربائى .

الطرق الفيزيائية :

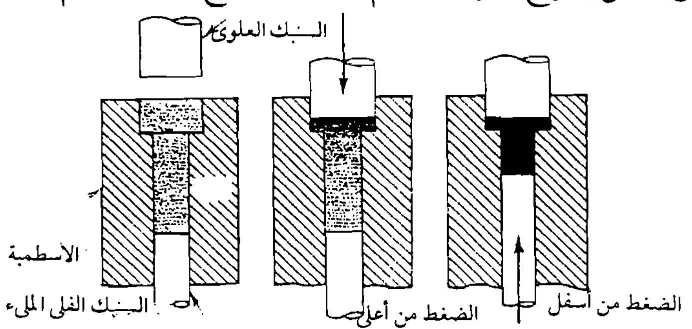
وتشمل طريقة التحليل والترسيب الكهربائى والتكثيف .

٥-١٠-٤- ضغط المساحيق فى الاسطمبات

يتم إعداد كمية المساحيق المطلوبة ، ثم وضعها فى الاسطمبة ، ويتم استخدام ضغط عليها ، كما هو موضح فى شكل (٥-٥٩) . وتجرى عملية التشكيل للمساحيق داخل الاسطمبات تحت ضغوط عالية ، وتزداد كثافة المساحيق والصلادة بزيادة الضغط ، ولكن يوجد حد أقصى للضغط لا ينتج عن تجاوزه سوى تحسين بسيط فى الخواص .

وتستخدم فى تشكيل المساحيق أنواع مختلفة من المكابس ، مثل المكابس الميكانيكية والتى لها معدل إنتاج عالى ، وأيضًا المكابس الهيدروليكية فى حالة إذا ما تطلبت القطع المراد إنتاجها ضغوط كبيرة .

وتكون أسطح فجوة الاسطمبة ذات درجة نعومة عالية للتقليل من الاحتكاك ، كما تكون مزودة بخلوص يسهل إخراج الجزء الذى تم تشكيله . وتبلغ نسبة الحجم الإجمالى للمسحوق



شكل (٥-٥٩) بعض عملية ضغط المساحيق فى الاسطمبات

داخل الاسطمبة قبـل الضغط ، وحجمه كجزء تـم تشكيله بعد الضغط حـوالى ٣ إلى ١ وذلك بالنسبة للحديد والنحاس .

٥-١٠-٥- التـلـبيــد (Sintering)

التلبيـد هــو عمليـة تسخين للقطـع التى تم ضغطهـا إلى درجــة حـرارة معينــة ، لتتم الارتباطات الـداخلية لجسيماتها ، وتحقيق الالتحام المطلوب بينهـا ، وتتراوح درجة الحرارة التى تستخـدم فى عمليـة التلبيـد بين ٧ , ٠ - ٩ , ٠ من درجـة حرارة الانصهـار المطلقـة للمكـون الرئيسى للمسحـوق . ويجب دراسة الزمن الـلازم لعملية التلبيد ، وأيضًا الجو الـذى يتم فيه ، وذلك لمنع تكوين الأكـاسيد على سطح المنتج . وتجرى عملية التلبيد فى أفـران خاصة ، تعمل بالكهرباء أو بالغاز وخلافه .

ويمكن أن تتم عملية الضغـط على الساخن ، حيث تتم عملية الضغـط والتلبيد فى وقت واحد . ويكون المنتج بهذه الطريقة أصلد وأدق ، وذا كثافة أعلى من القطع المنتجة بالضغط ثم التلبيد ، ولكن بتكلفة مرتفعة .

٥-١٠-٦- العمليات النهائية للجزء

تجرى على الجزء العمليات النهـائية بالنسبـة لضبط المقاسات . كما أنـه ممكن غلق مسام القطعة التى تم تلبيـدها بإجراء عمليـة تخلل ، وذلك بإدخال معـدن منصهر فيها بـالتجاذب الشعرى . وينتج عن ذلك تحسين الخواص ، ومن أمثلة ذلك النحاس فى الحديد .

٥-١٠-٧- الغمس فى الزيت

يجرى غمس الأجزاء بعد التلبيد فى الزيت ، فى جـوّ عادى ، أو جوّ مفرغ ، فتمتلئ مسامها بالزيت ، والذى يكفى لتزييت هذه الأجزاء تلقائيا أثناء الاستخدام .

٥-١٠-٨- فوائد استخدام ميتالورجيا المساحيق

ممكن تلخيص فوائد استخدام ميتالورجيا المساحيق فى النقاط الرئيسية التالية :

١ - إنتـاج أجزاء لا يمكن إنتـاجها بأى طـريقة أخـرى ، مثل الأجزاء المصنـوعة من سبـائك تحتوى على خليط من مسـاحيق معدنية وغير معـدنية ، أو أجزاء تتكون من عـدة طبقات تصنع كل منها من مسحوق معدنى معين .

٢ - الحصول على منتجات ذات خواص فيـزيائية وكيميائية وميكانيكيـة معنية ، غير متوفرة فى المعادن والسبائك المسبوكة أو المصنعة بأساليب التشكيل الأخرى .

٣ – الإنتاجية العالية مع دقة الأجزاء المنتجة .
٤ – التوفير فى الخامات ، لأنه لا يكاد يفقد أى جزء من المساحيق أثناء التصنيع .

٥-١٠-٩- عيوب استخدام ميتالورجيا المساحيق

ممكن تلخيص عيوب استخدام ميتالورجيا المساحيق فى النقاط الرئيسية التالية :

١ – التكلفة العالية للحصول على مساحيق المعادن كمادة أولية ، إذا ما قورنت بالمواد الأولية لطرق الإنتاج الأخرى .
٢ – ارتفاع ثمن المعدات المستخدمة ، وخاصة الاسطمبات ، وأفران التلبيد .
٣ – صعوبة إنتاج بعض الأجزاء المعقدة بهذه الطريقة .
٤ – حجم الأجزاء التى يتم إنتاجها محدود بإمكانيات المكابس المتوفرة وثمنها .

٥-١٠-١٠- مواد ومنتجات ميتالورجيا المساحيق

منتجات ميتالورجيا المساحيق ، ومن المواد المختلفة عديدة ، كما هو موضح فى شكل (٥–٦٠) ، ويمكن تلخيص بعض هذه المنتجات وموادها فيما يلى :

١ – كراسى التحميل المسامية :

يتم إنتاجها بمسامية تبلغ من ١٠–٣٥٪ من حجم الكراسى ، ثم تغمس وتشرب بالزيت . وتستخدم فى الآلات والأجهزة والسيارات والطائرات ، وممكن أن تتكون من حديد وجرافيت ، وحديد ونحاس وجرافيت ، وبرونز وجرافيت ، والألومنيوم وحديد وجرافيت ، وألومنيوم ونحاس وجرافيت .

٢ – الجلب الحديدية والجلب الحديدية الجرافيتية :

تتكون من المساحيق الحديدية ، والحديدية الجرافيت، وتتم فى الأفران ذات الوسط الواقى ، ثم تشرب الجلب بالزيت .

٣ – المرشحات المعدنية المسامية :

تستخدم المرشحات المعدنية المسامية لتنقية الغازات ، وبعض السوائل كالبنزين والزيت ، وبعض المواد الكيميائية ، وتصل نسبة مساميتها إلى حوالى ٨٠٪ ، ويستعمل لهذا الغرض البرونزوالنيكل والصلب المقاوم للصدأ ، والتيتانيوم والتنجستين والفانيديوم .

٤ – التروس :

يتم التوفير الكثير بإنتاج التروس بطريقة ميتالورجيا المساحيق عن طريقة التشغيل الميكانيكى . فمثلا عند تصنيع ترس لمضخة زيت فى سيارة يتم تخفيض استهلاك المعدن من ٢٩٥ إلى ٨٩ جرامًا ، وينخفض سعر إنتاجه بمقدار ٤ , ١ مرة .

٥ - الكربيدات والسمنت كربيد :

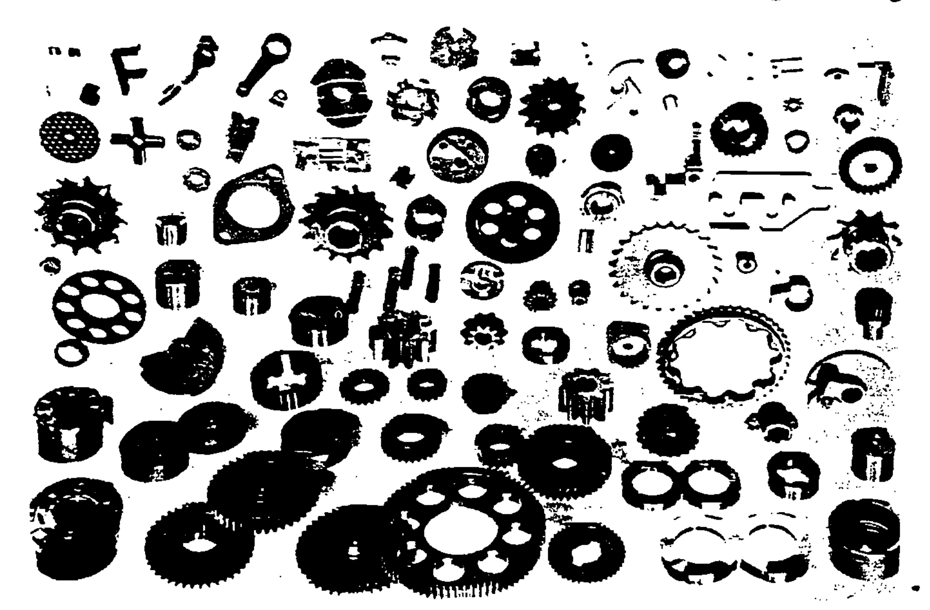
تستخدم الكربيدات فى صنع عدد القطع ، كأقلام المخارط وأطراف المثاقيب وغيرها ، وأجزاء الاسطمبات ، وكثير من الأجزاء المطلوب أن تقاوم التآكل الميكانيكى وكمثال لذلك كربيد التنجستن ، الذى يصنع بخليط من مساحيق التنجستن والكربون ، ويضاف إليه مسحوق الكوبلت ، الذى يستخدم بمثابة مادة رابطة لجسيمات الكربيد ، وليضيف القوة والمتانة على المنتج النهائى . ويستعمل أيضًا كربيدات التيتانيوم وكربيدات التيتاليوم وغيرها .

٦ - المغناطيس :

يتم إنتاج المغناطيس الصغير الممتاز باستخدام مساحيق الحديد والألومنيوم والنيكل والكوبلت . وتنتج مساحيق الحديد والألومنيوم والنيكل أنواع من المغناطيس تعرف باسم مغناطيس النيكو تفوق فى جودتها المغناطيس المصبوب ، وذلك لخلوها من العيوب الداخلية ولدقة بنيتها .

٧ - فحمات المحركات :

تصنع بخليط من مسحوق النحاس ومسحوق الجرافيت بنسب محددة للحصول على المتانة الميكانيكية المطلوبة . وقد يضاف القصدير أو الرصاص بنسب صغيرة لتحسين المقاومة للتآكل الميكانيكى .



شكل (٥-٦٠) أمثلة لمنتجات ميتالورجيا المساحيق

٥-١١- تشكيل اللدائن (PLASTIC FORMING)

يتم إنتاج الأجزاء المصنعة من اللدائن على خطوتين رئيسيتين . الخطوة الأولى كيميائية وذلك للحصول على مادة اللدائن . والخطوة الثانية ميكانيكية فى جميع الحالات ولكن تشمل أيضًا نهاية للعملية الكيميائية للدائن التى تتصلد بالحرارة ، وتشمل الخطوة الثانية تشكيل اللدائن إلى المنتج النهائى المطلوب ، والتى سيتم شرحها فى هذا الجزء .

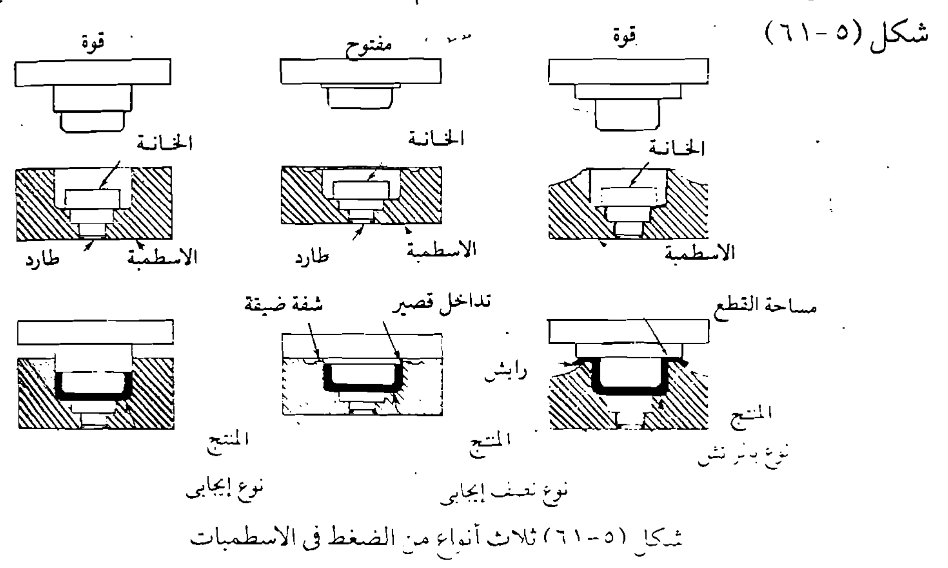
٥-١١-١- عمليات تشكيل اللدائن

يتم تشكيل اللدائن بعدة طرق ، وسبب تواجد العديد من عمليات التشكيل للدائن هو أن كل من هذه المواد المختلفة يتطلب أن يتعامل معه بطريقة محددة ، ونلاحظ أن لكل طريقة مزايا لبعض أنواع معينة من المنتجات .

ويتم فيما يلى بإيجاز توضيح العمليات الرئيسية لتشكيل اللدائن .

٥-١١-١-١ - الضغط فى الاسطمبات (Compression Molding)

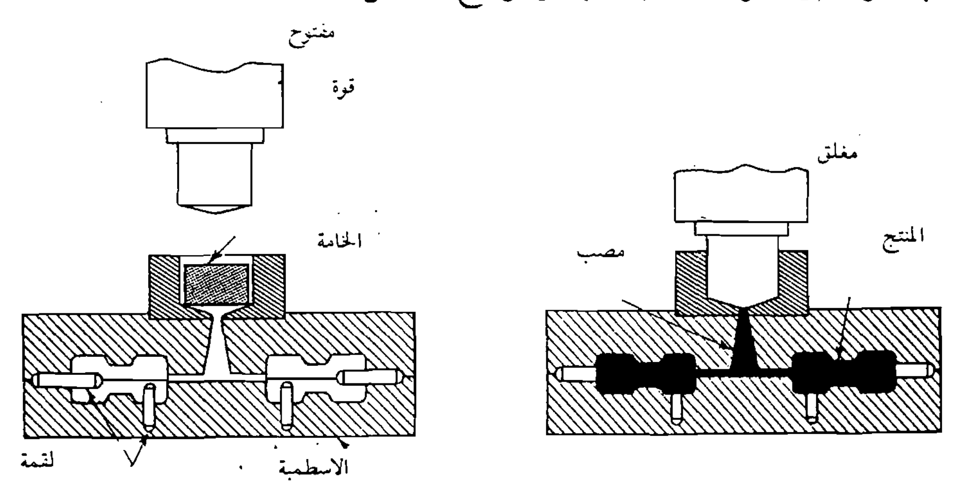
يتم وضع الكمية المحددة من اللدائن فى فجوة الاسطمبة ، ثم يتم ضغطها بسنبك ، ويتم تسخين اللدائن فى معظم الحالات بين ١٢٠ - ٢٦٠ درجة مئوية ، وتلين وتملأ فراغ الاسطمبة بالشكل المطلوب . ويتم ذلك على المكابس ، وغالبًا تستخدم اللدائن التى تلين بالحرارة . ويجرى بعد ذلك إمداد الحرارة المطلوبة للنضج للدائن . ويمكن وضع قرص سبق تشكيله على البارد فى فجوة الاسطمبة كخامة يتم عليها الضغط بالسنبك ، كما هو موضح فى شكل (٥-٦١)



شكل (٥-٦١) ثلاث أنواع من الضغط فى الاسطمبات

٥-١١-١-٢- نقل اللدائن ومرورها من فتحة المصب إلى الاسطمبة (Transfer Molding)

يتم فى هذه الحالـة تسخين الخامة وضغطهـا فى حيز واحد ، ثم مـرورها من خـلال فتحة مصب وممرات إلى فجوة الاسطمبة ، كما هو موضح فى شكل (٥-٦٢) .



شكل (٥-٦٢) نقل اللدائن ومرورها من فتحة المصب للاسطمبة

٥-١١-١-٣ - الحقن فى الاسطمبات (Injection Molding)

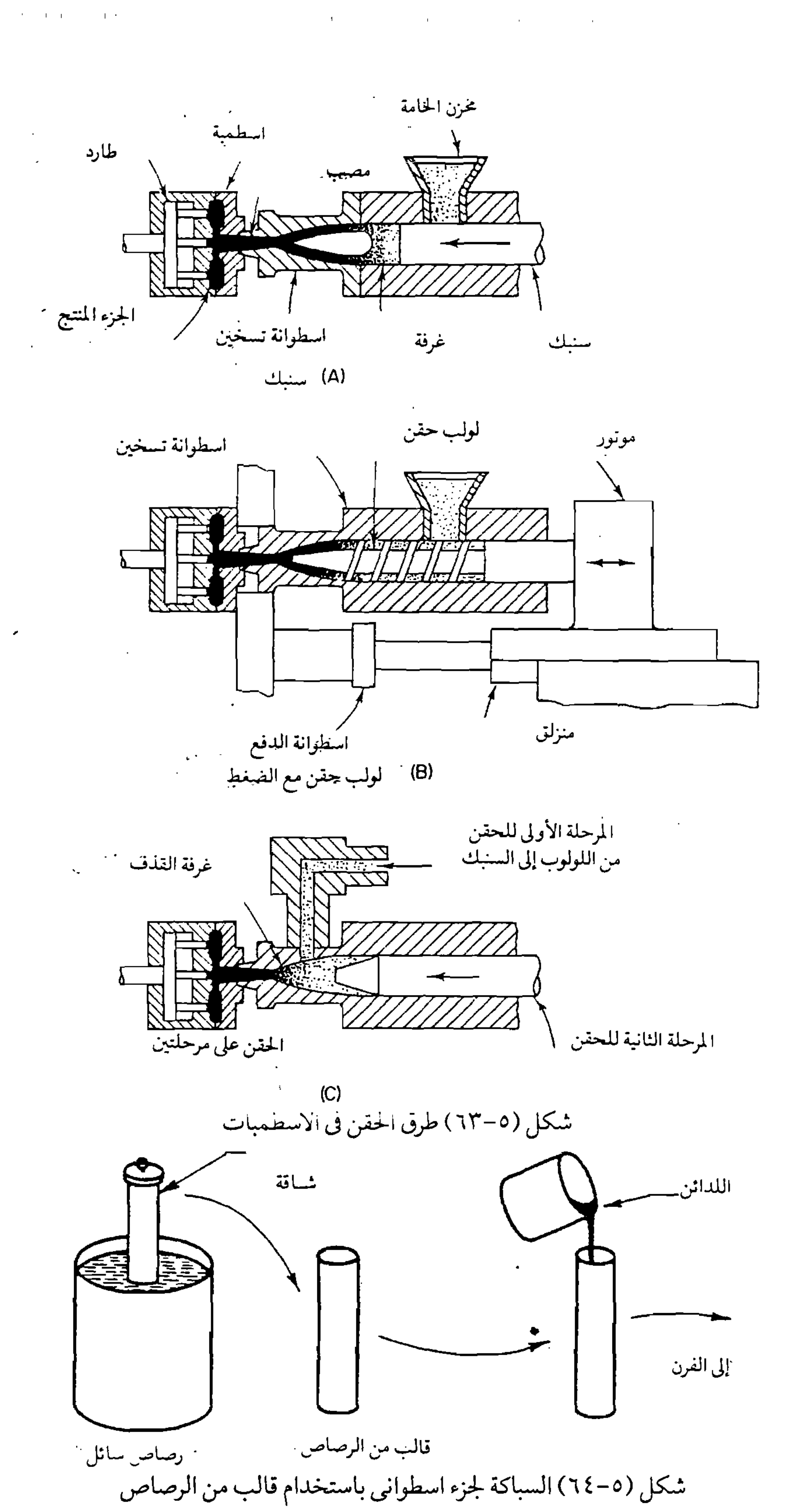
الطـرق المختلفـة للحقن فى الاسطمبات مـوضحـة فى شكل (٥-٦٣) . ويتم فيهـا نقل الخامة مـن خزانها إلى الحيز المحـدد ، ويتم الضغط إما بسنبـك كما فى شـكل (٥-٦٣ أ) أو لـولب حقن مع الضغـط كما فى شكل (٥-٦٣ب) ، أو بـالحقن على مـرحلتين كما فى شكل (٥-٦٣جـ) .

٥-١١-١-٤- السباكة (Casting)

يـوضح الشكل (٥-٦٤) عمليـة السبـاكـة لجزء أسطـوانى ، وبـاستخـدام قـالب من الرصاص . كما أنه ممكن تصنيع منتجات أسطوانية كـالمواسير بأسلوب السباكة بالقوة الطاردة المركزية .

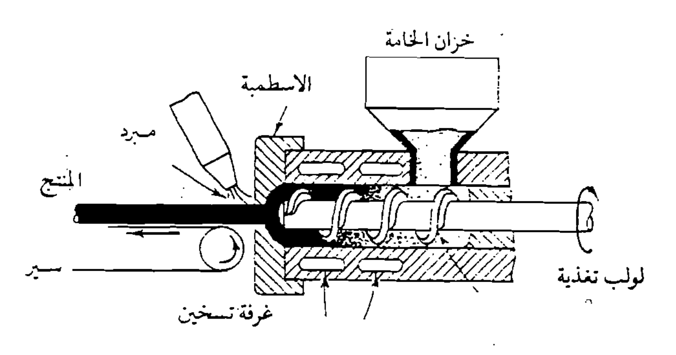
٥-١١-١-٥ - البثق (Extrusion)

يتم إنتاج الأجزاء الطويلة بواسطة البثق من الاسطمبات ، حيث تمر الخامة من خزانها إلى أسطوانة التسخين ، والتى يتم فيها ضغط الخامة بـواسطة لولب ، ثم إلى الاسطمبة ، حيث يتم بثق المنتج ، كما هو موضح فى شكل (٥-٦٥) .



شكل (٥-٦٣) طرق الحقن فى الاسطمبات

شكل (٥-٦٤) السباكة لجزء اسطوانى باستخدام قالب من الرصاص



شكل (٥-٦٥) عملية بثق اللدائن

٥-١١-١-٦- الرقائق واللدائن المقواة :

يتم الحصول على الشرائط والمواسير من الرقائق . والمواد التى تستخدم فى التقوية للدائن المقـواة تشمل الورق ، والقطن ، والاسبستـوس ، والنايلـون وغيرها . ويـوضح شكل (٥-٦٦) الطرق المختلفة لتشكيل الرقائق واللدائن المقواة ، والتى تتم بواسطة الآتى :

(أ) الضغط العالى (High Pressure)

(ب) الاسطمبات المطابقة (Matched Die)

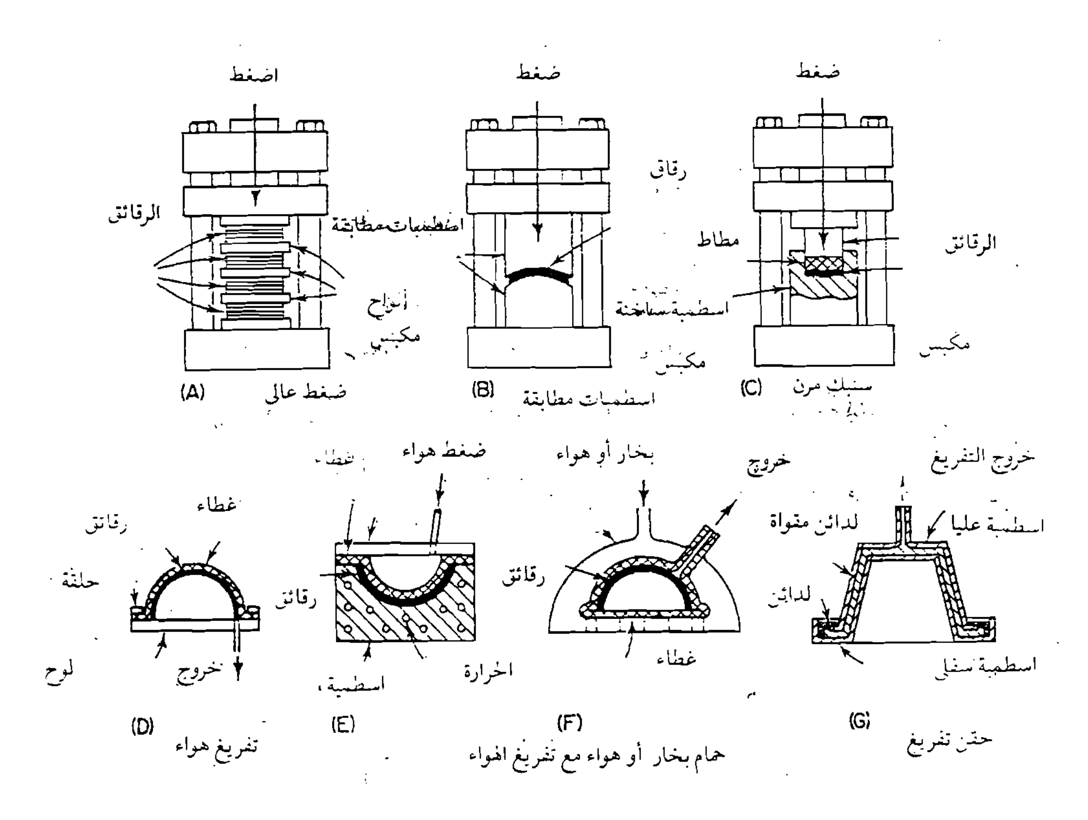
(جـ) السنبك المرن (Flexible Plunger)

(د) تفريغ الهواء (Vacuum Bag)

(هـ) ضغط الهواء (Pressure Bag)

(و) حمام بخار أو هواء مع تفريغ الهواء (Autoclave and Vacuum Bage)

(ز) حقن التفريغ (Vacuum Injection)



شكل (٥-٦٦) طرق مختلفة لتشكيل الرقائق واللدائن المقواة

٥-١١-١-٧- تشكيل الألواح :

تتم عمليات تشكيل الألواح بعد تسخينها إلى عدد من الأشكال ، كما هو موضح فى شكل (٥-٦٧) ، وبالطرق التالية :

(أ) التشكيل الميكانيكى (Mechanichal Forming)

(ب) التشكيل بالتفريغ من فتحة واحدة (Vacuum Free Forming)

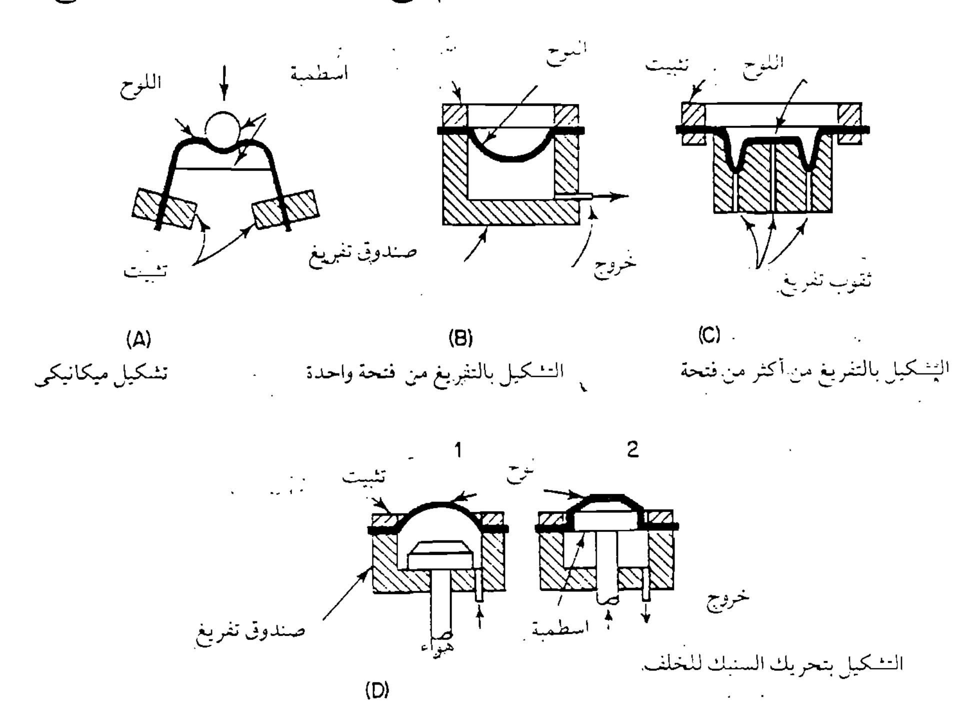
(جـ) التشكيل بالتفريغ من أكثر من فتحة (Drape Vacuum Forming)

(د) التشكيل بتحريك السنبك للخلف (Snap-back Forming)

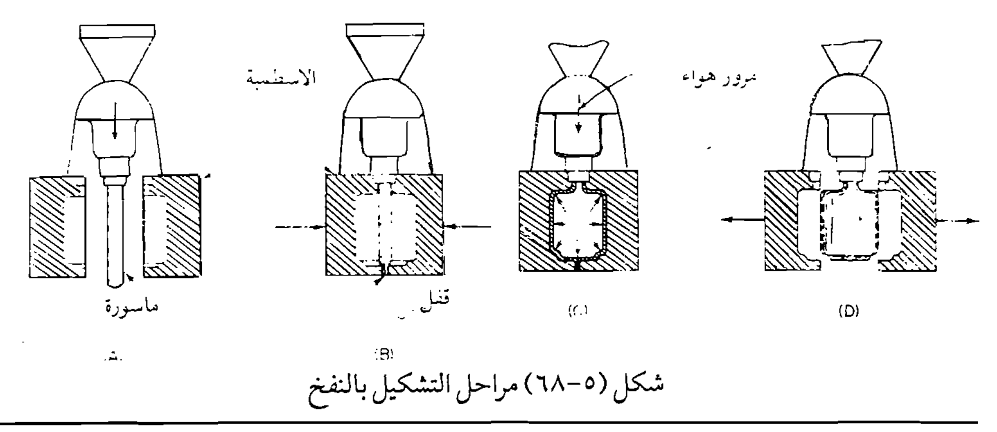
٥-١١-١-٨- التشكيل بالنفخ (Blow Molding)

تجرى عملية التشكيل بالنفخ على أربعة مراحل ، كما هو موضح فى شكل (٥-٦٨) . يتم فى المرحلة الأولى تسخين طول محدد من ماسورة من اللدائن التى تلين بالحرارة ، وتثبت فى

فوهـة هواء ، مع وضعها بين نصفى الاسطمبـة . يتم غلق نصفى الاسطمبة فى المرحلة الثـانية ، مع قفل نهايـة الماسورة . فى المرحلـة الثالثة ، ينفخ الهواء فى الماسـورة فتتمدد وتـلامس السطح الداخلى للاسطمبة المغلقة . وفى المرحلة الرابعة ، يتم فتح نصفى الاسطمبة ، ويطرد المنتج .



شكل (٥-٦٧)طرق مختلفة لتشكيل الألواح



شكل (٥-٦٨) مراحل التشكيل بالنفخ

الباب السادس

التوحيد القياسى

أ. د/ منير محمد فريد قوره

اعتمد الإنسان فى القرن الماضى على التصنيع الفردى للأجزاء ، فلم يكن هناك ضرورة لدراسة علاقة أى جزء مصنع بالأجزاء الأخرى ، فلم يكن مفهوم الإنتاج الكمى أو الإنتاج المتعدد جهات التصنيع معروفًا وبالتالى تصنيع قطع الغيار ومراعاة التبادلية لم تكن قد استوفت مفهومها الكامل حينئذ ، ومع تطور أساليب الإنتاج وارتباط الصناعة فى الدول المختلفة ارتباطًا وثيقًا بحيث أصبح من المعتاد أن يتم تصنيع أجزاء معدة ما فى أكثر من مصنع بل وفى بلاد مختلفة فى بعض الأحيان وبحيث يتم تجميعها فى مصنع لا يمت بالمصانع السابقة بأى صلة ، بل وقد يبعد عنه عشرات أو مئات الكيلومترات ، وبذلك أصبح من الضرورى فى هذه الحالة أن يتم وضع نظام موحد يكون الأساس فى التصنيع والسيطرة على تصنيع الأجزاء المختلفة ، وبالتالى أيضًا يتم من خلاله التأكد من تبادلية قطع الغيار التى تصنع خصيصًا للإحلال عند صيانة المعدات ، وقد بنى هذا النظام على أساس توحيد قياس ووضع مواصفات قياسية لتحديد مدخلات التصميم والصناعة . ثم أسس معايرة دولية لتوحيد المخرجات من الصناعة وبذلك يتم السيطرة على كافة المنتجات .

ومن المهم الإلمام التام بمفهوم التوحيد القياسى والمواصفات من جهة ، ومفهوم المعايير القياسية من جهة أخرى .

أولاً : التوحيد القياسى :

مع بداية معرفة الإنسان بالعمليات الإنتاجية والتصنيعية اكتشف ضرورة إيجادطرق قياس للمسافات والأزمنة وخلافها وكانت هناك عدة مقاييس لكل من هذه العناصر (الأطوال - الزمن ....) وكانت تختلف هذه المقاييس باختلاف العشيرة أو المجتمع الواحد مما كان يسبب صعوبات كثيرة عند إجراء عمليات تبادلية بين العشائر المختلفة ، ومع التطور

الصناعى الهائل الذى بدأ بعصر البخار وظهور الضرورة فى إنتاج كمى لسلعة واحدة ، ومع تعدد منتجى هذه السلعة فى المجتمع الواحد وفى البلاد المختلفة ، الأمر الذى أصبح ضرورة توحيد القياس بين هذه الجهات المختلفة . وبدأت منذ أواخر القرن الثامن عشر دراسات حول توحيد الأنظمة القياسية بحيث أصبحت مركزة فى نظامين عالميين هما النظام الامبريالى والنظام المترى وبذلك أصبح من الممكن إنتاج كميات من الأجزاء المختلفة لسلعة ما فى مصنع واحد أو مصانع متعددة وأمكن تجميعها بسهولة ودقة .

وبذلك فقد بدأ الاهتمام بوضع ما يسمى التوحيد القياسى الذى يمكن أن يعرف بأنه اتباع أسلوب موحد وتطبيق بنود ثابتة واتخاذ مراجع واحدة عند تنفيذ أى نشاط أو مزاولة أى مهنة ، وقد وضعت المنظمة الدولية للتوحيد القياسى International Specifications Organization التعريف التالى للتوحيد القياسى :

وضع وتطبيق قواعد لتنظيم نشاط معين لصالح جميع الأطراف المعنية وبتعاونها وبصفة خاصة لتحقيق اقتصاد متكامل أمثل مع الاعتبار الواجب لظروف الأداء ومقتضيات الأمان .

ومن أهم العوامل الواجب مراعاتها عند تطبيق التوحيد القياسى ، هى العوامل الأساسية الثلاث وهى التبسيط ، التوحيد ، التوصيف .

وبلاشك فإن التبسيط يؤدى بصورة مباشرة إلى خفض رأس المال وترشيد استخدام المعدات وترشيد عمليات الشراء وتحسين الأداء على كافة المستويات ، وبالتالى زيادة الربحية وارتفاع مستوى جودة المنتجات ، أما التوحيد فهو توحيد المواصفات المستغلة فى تصنيع الأجزاء المختلفة بحيث تستهدف قابلية المنتجات للتبادلية . أما العنصر الثالث وهو الخاص بالتوصيف وهو يعنى تحديد خصائص المواد والمنتجات وأساليب الإنتاج وعناصره وإدارته . وبناء على ما سبق فقد تم فى مصر إنشاء هيئة التوحيد القياسى بقرار جمهورى صدر سنة ١٩٥٧ ومن أهم الأغراض الموكله له :

(أ) وضع المواصفات القياسية بما فيها الاصطلاحات الفنية والتعريف والرموز .
(ب) تنسيق الأعمال المتعلقة بالتوحيد القياسى مع المنظمات الدولية المماثلة .
(جـ) اتاحة المراجع والاستشارات فى هذا المجال للشركات ولمصانع الإنتاجية المختلفة .

ومن المعتاد أن يشترك كافة المختصين فى مجال المواصفة فى وضع المواصفة المطلوبة بحيث يشترك الأطراف المختلفين من جهات علمية متخصصة مثل الجامعات ومراكز

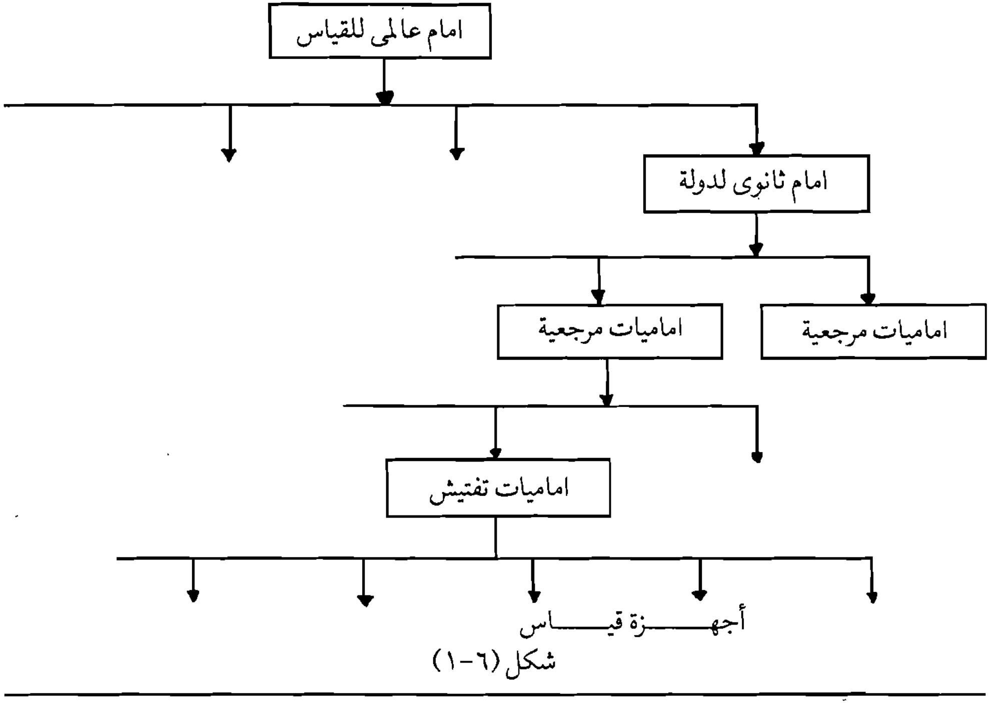
البحوث والجهات الإنتاجية من المصانع وخلافها ومن المستفيد من العامة فى وضع مواصفة واحدة .

وأخيرًا فمن الضرورى أن يلتزم كافة الأطراف المختلفة باحترام وتنفيذ الخطوات المبينة فى أية مواصفة قياسية .

ثانيًا : ربط معدات القياس المختلفة :

من ما ذكر سابقًا يتضح أنه باتباع أسلوب التوحيد القياسى يمكن السيطرة على مدخلات التصنيع ولكى تكتمل دورة التصنيع ولضمان التبادلية الكاملة فأصبح الوضع يحتاج إلى ربط معدات وأجهزة القياس المختلفة فى جميع الشركات الإنتاجية على المستوى العالمى ، وبذلك يتم التحقق من دقة كل جزء منتج بالنسبة للأجزاء الأخرى حتى وإن كان الجزء الآخر المنتج فى بلد آخر ويتم ذلك من خلال اتباع نظم المعايرة الشبكى ويتلخص فى ضرورة معايرة كل معدة قياس بمعدة ذات درجة أعلى إلى أن يصل إلى الأمام العالمى شكل (٦-١) .

حيث يتم تقسيم مراجعة أجهزة القياس إلى أربعة مستويات وهى : مستوى الأماميات فى معامل كل مصنع والتى تقوم بمراجعة أجهزة القياس داخل المصنع نفسه لتحديد دقتها ثم



شكل (٦-١)

مستوى أماميات المناطق الصناعية والتى تقوم بتحديد الخطأ ودقة أماميات المعامل ثم الأمام الثانوى للدولة والذى يقوم بمراجعة أماميات المناطق وفى النهاية الأمام العالمى والذى يتم مراجعة الأماميات الثانوية للدول عليه .

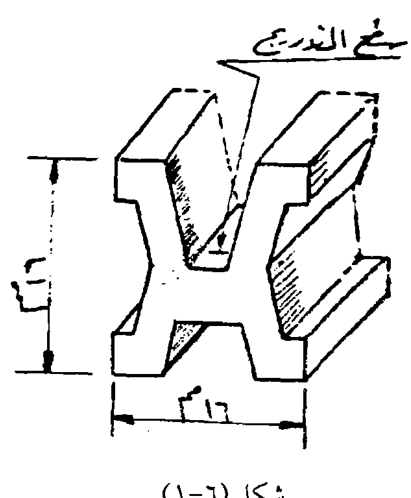
وفى قياس الأطوال مثلاً فمن المعتاد أن تكون أماميات المناطق وأماميات المعامل من النوع الطرفى(End Standard) أما الأماميات الثانوية والدولية فهى من نوع الأماميات الطولية (Line Standard) .

وفيما يلى وصف للأماميات الطرفية والطولية فى مجالىّ القياس الطولية والزاوية .

حتى أكتوبر ١٩٦٠ كان المتر يعرف على أنه المسافة بين خطين على سطح قضيب معين مصنوع من مادة platinum-inidium عندما يكون فى درجة حرارة صفر°م ومرتكز فى وضع الأيرى . ويعرف هذا القضيب بأنه الأمامية الدولية prototype Metre التى ترد إليها كل المعايرات لجميع الأماميات الثانوية Secondary standands وشكل هذا القضيب مبين بالشكل رقم (٦-٢) .

من تلك الأمامية الدولية تم تقليد أماميات ثانوية مصنوعة من نفس المعدن وموزعة على الدول الأعضاء International Bureau of Weights and Ueasuresi وكذا تم عمل أماميات مرجعية من معادن أقل تكلفة لاستعمالها فى مراكز المعايرة الرئيسية فى كل دولة .

بعد المؤتمر الدولى الحادى عشر للقياس والأوزان فى أكتوبر ١٩٦٠ وخوفًا من تغير طول المتر على الأمامية الدولية مع الزمن ، فقد رؤى تحديد المتر بطول الموجة الضوئية ، وعلى هذا فقد



شكل (٦-١)

اتفق على تحديد المتر على أنه يساوى ١٦٥٠٧٦٣,٧٣ طول موجة الضوء البرتقالى المنبعث فى ظروف معينة .

هناك أمامية دولية أخرى تعرف الياردة وهى أساس القياس فى بعض الدول مثل : كندا - الولايات المتحدة - استراليا - جنوب أفريقيا - نيوزيلاندا - والمملكة المتحدة . علماً بأن الدولة الأخيرة تغير تدريجيًا نظامها إلى النظام المترى . والعلاقة بين الياردة والمتر هى :

١ ياردة = ٠,٩١٤٤ المتر .

= ٠,٩١٤٤ × ١٦٥٠٧٦٣,٧٣ من طول الموجة السابقة .

من هذا التعريف للياردة بالنسبة للمتر فإن العلاقة بين البوصة والملليمتر هى :

البوصة = ٢٥,٤ مليمتر .

الأماميات الطرفية End Standard

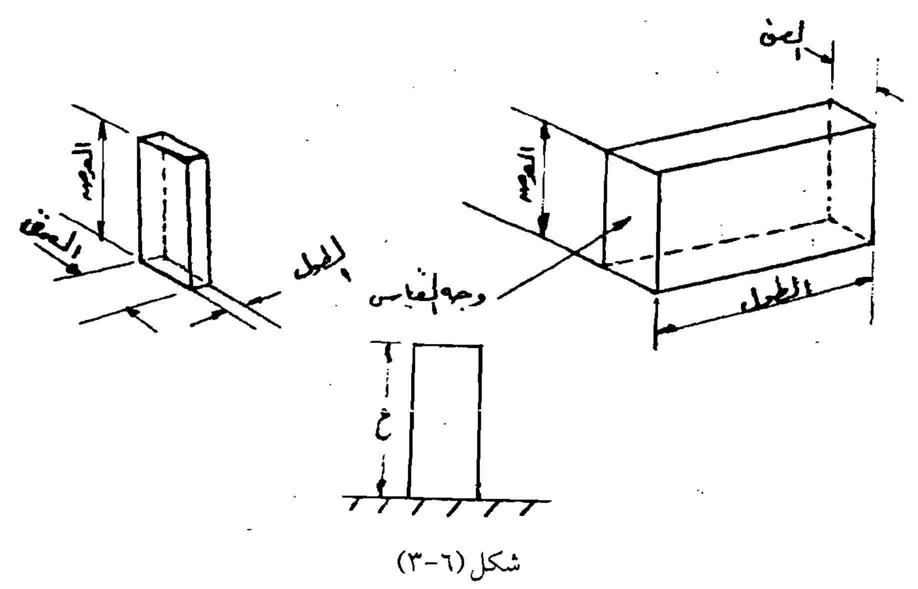
من الواضح أنه فى الأغراض الهندسية العامة يصعب استعمال أطوال مرجعية كتلك المحصورة بين خطين Line Standard حيث أن ذلك يحتاج إلى أجهزة ضوئية لتحديد مواضع الخطوط ولذا فكان من الأهمية إنتاج أطوال مرجعية تعتمد على المسافة المحصورة بين أسطح دقيقة End Standard. كمثال لهذا النوع - قوالب القياس slip gauge ذات الشكل المتوازى مستطيلات وكأطوال القياس المرجعية Length bars ذات الشكل الاسطوانى .

أولاً - قوالب القياس :

المعدن والشكل

تصنع قوالب القياس من صلب سبائكى عالى النقاوة معامل حراريًا لإزالة الإجهادات الداخلية فيه ومعالج لدرجة صلادة حوالى ٦٥ روكويل .

الشكل العام لها على هيئة متوازى مستطيلات كما هو مبين بالشكل (٦-٣) وهى مشطبة لدرجة عالية الدقة وأسطحها متعامدة وخالية من الأركان الحادة .



شكل (٦-٣)

المصطلحات :

(أ) يعرف طول القالب Length على أنه البعد العمودى « ع » المحصور بين السطح العلوى للقالب والسطح السفلى له الملتصق على سصح مرجعى .

(ب) تعرف عرض القالب width على أنه البعد الأكبر من البعدين الآخرين بعد استثناء الطول .

(جـ) يعرف عمق القالب depth على أنه البعد الأصغر من البعدين الآخرين بعد استثناء الطول .

(د) يعرف وجها القياس Measuring faces على أنهما السطحان المصقولان من بين أسطح القالب .

(هـ) يعرف جانبا القالب side faces على أنهما السطحان الذى يحصران بينهما عمق القالب .

درجات الدقة Grades

تنقسم أنواع قوالب القياس منناحية دقتها إلى أربعةأنواع – هى :

(أ) قوالب قياس تشغيل Workshop grade

(ب) قوالب قياس تفتيش Inspection grade

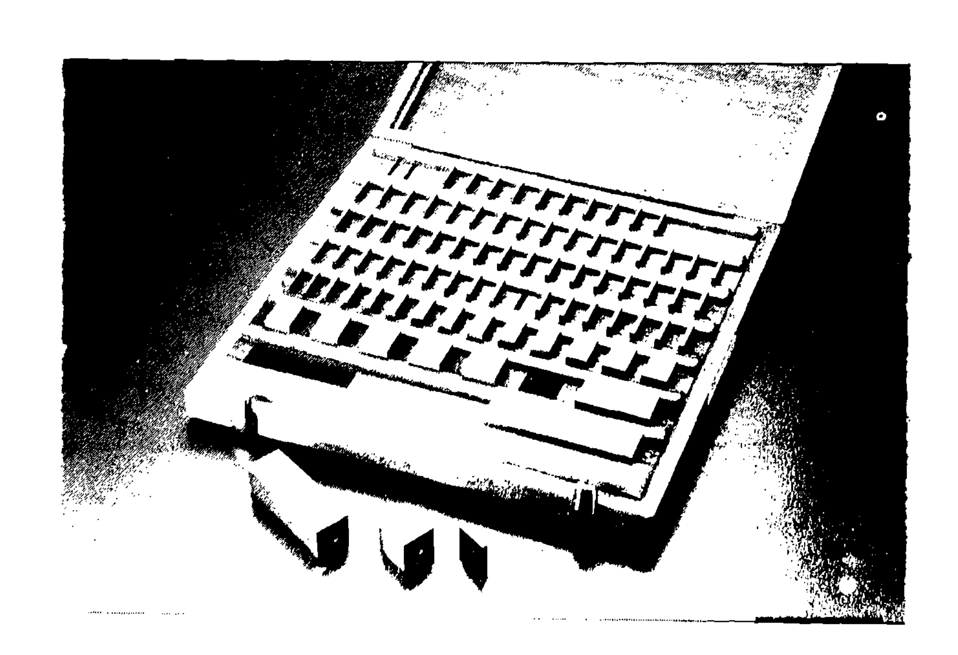
(جـ) قوالب قياس معايرة Calibration grade

(د) قوالبب قياس مراجعة Reference grade

يستعمـل النوعـان « أ » « ب » فى مجـال الورش ولـلأغراض العـامة حيث يستعمـل النوع « أ » فى قياس المشغـولات فى حين يختبر بمعايرته بـالنوع « ب » أما النـوع « جـ » فيسخدم فى معـامل القياس لمعايرة النـوعان الأولان . أما النـوع « د » فهو أدقهم ويستعمل فى معايرة الأنواع السابقــة وتحفظ فى معامـل القياس المركزية . وعادة يعاير هـذا النوع بمقارنته بالأمامية الثانوية .

مجموعات القوالب :

تبـاع قوالب القيـاس على هيئة مجمـوعـات كما هو مبين بـالشكل (٦-٤) بحيث يمكن تكوين أى بعد بواسطة المجموعة ومن أشهر هذه المجموعات تلك بالجدول ١ .



شكل (٦-٤)

القـــوالـــب		الخطـــوة	عدد القوالب
مـــن	إلـــى		
١,٠٠٠٥		-	١
٠,٩٩١	- ٠,٩٩٩	- ٠,٠٠١	٩
١,٠٠١	- ١,٠٠٩	- ٠,٠٠١	٩
١,٠١	- ١,٤٩	٠,٠١	٤٩
١,٦	- ١,٩	٠,١	٤
٠,٥	- ٢٥,٠	٠,٥	٥٠
٣٠	- ٩٠	١٠	٧
٧٥	- ٢٠٠	٢٥	٦
٣٠٠	- ١٠٠٠	١٠٠	٨
٢٥٠	٧٥٠	-	٢
العـــدد الكـــلى			١٤٥

ملحقات قوالب القياس Accessories of slip gauges

عمومًا يوجد ستة أجـزاء تعتبر ملحقات لقوالب القياس . بواسطتهم يمكن توسيع مجال استخـدام القوالب . كل هـذه الملحقات بـاستثنـاء الماسك مصنوعـة من صلب عالى النقـاوة معامل حراريًا لازالة الاجهادات الداخلية ومعالج إلى نفس مواصفات قوالب القياس .

فك النهاية النصف دائرى Round shape Jaw

هـذا النوع مـوضح فى الشكل (٦-٥٤) وهو ينتـج من ثلاث أو أربع مقـاسات مختلفـة ويستعمل فى قياسات الأبعاد الداخلية والخارجية .

فك عدل ذو مقطع « I » Flat shape Jaws

ينتج هذا النوع من شكلين : الأول وهو الموضـح بالشكل (٦-٦) ويستعمل للقياسات الخارجيـة فقط . أما النـوع الثانى وهـو الموضح بالشكل (٦-٧) فيستعمل لقيـاسات الأبعـاد الخارجيـة والداخليـة . فى كل من هـذين النـوعين والنوع السـابق يـوجـد مسطحان مشطيـان

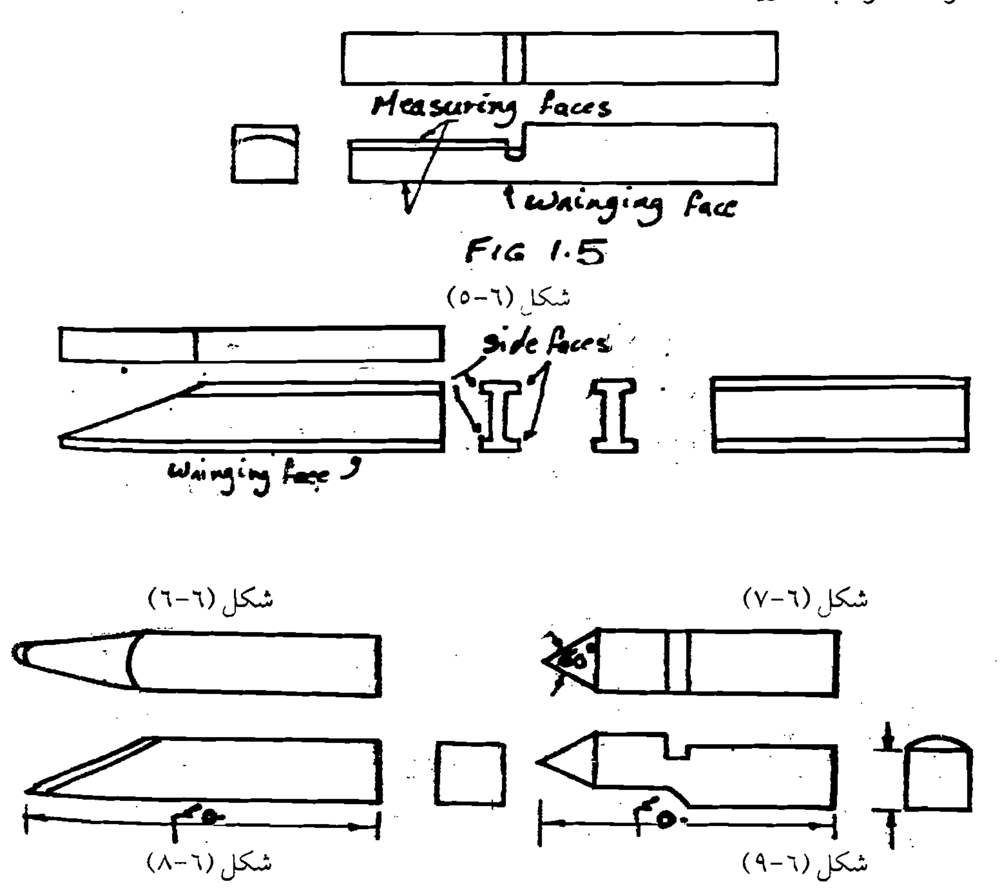
ومشقولان ومتـوازيان بنفس درجة دقة قـوالب القياس مسبان بوجـه القياس . كما يستعمل فى كثير من الأحيان فى تكوين محددات دخول ولا دخول .

فك شنكار Scriber point

الشكل (٦-٨) يبين رسمًا تـوضيحيًا لفك الشنكـار . وفيه يكـون نهاية الحد المسلـوب فى نفس مستـوى وجه القيـاس السفلى ويستخدم هذا الفـك فى شنكرة الخطـوط على المشغولات المختلفة .

فك زنبة Centre point

الشكل (٦-٩) يوضح هذا النوع وهو منتهى بسن مخروطية زاويتها ٦٠° ويقع رأس السن المخـروطى تمامًا فى نفس مستـوى وجـه القياس العلـوى . وأهم مجالات استعمالـه هو قيـاس خطوات اللوالب المترية .



شكل (٦-٥)

شكل (٦-٦)

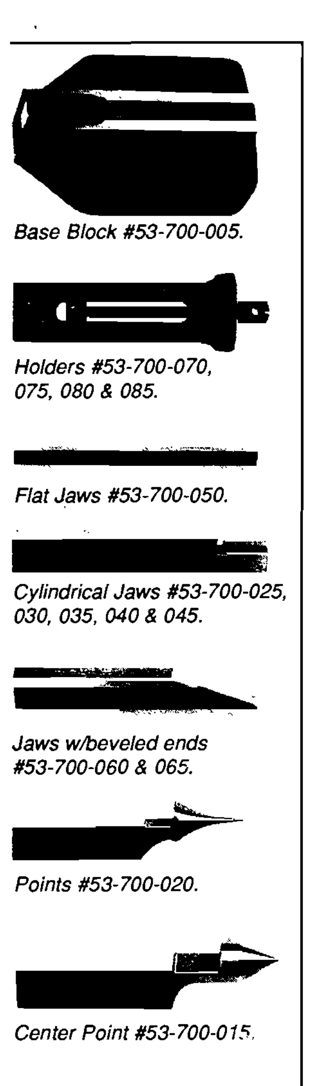
شكل (٦-٧)

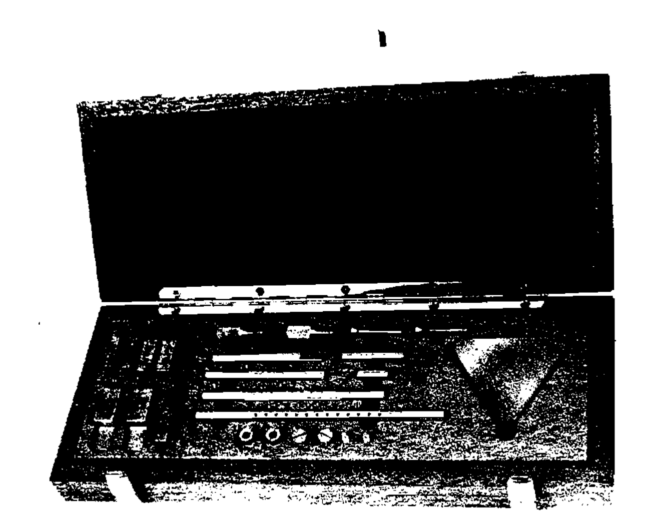
شكل (٦-٨)

شكل (٦-٩)

ماسك القوالب والقاعدة Holder and base

الشكل (٦-١٠) يوضح الماسك والقاعدة ويوجد بينهما مقاسات مختلفة . ومن أهم خواص القاعدة أنها تحقق تعامد الماسك المثبت فيها على السطح المرجعي الموضع عليها القاعدة . بالماسك يوجد سمار ربط لزنق القوالب وأحد الفكوك المستعملة فيها .





شكل (٦-١٠)

معايرة قوالب القياس :

تتم معايرة قوالب القياس باستخدام التداخل الضوئى interferance

ثانيًا - أنواع معدات القياس : Measuring equipment

أدوات القياس : Measuring instrument

يمكن تعريف أدوات القياس البسيطة على أنها المعدات التى بواسطتها يمكن تحديد بُعد أو مقاس بالقراءة المباشرة بدون الاستعانة بأى أجهزة أو أدوات مساعدة ،من هذا النوع أجهزة كثيرة مثل مساطر القياس - ورنيات القياس - قوالب القياس - ساعات قياس .. إلخ .

أجهزة القياس : Measuring devices

على العكس من أدوات القياس يمكن تعريف أجهزة القياس على أنها معدات قياس يمكن بواسطتها تمثيل بُعد أو مقاس مشغولة على الجزء المدرج فيها . وفى بعض الأحيان يمكن تسجيل هذه القراءات منها على أجهزة تسجيل .

ويلاحظ أن بعض أجهزة القياس تحتوى على تدريج مرجعى والآخر لا يحتوى عليه . ويسمى النوع الأول جهاز قياس مطلق absolute device والنوع الثانى جهاز قياس مقارن Comparator حيث أن هذا النوع الثانى لا يمكن قراءة البُعد عليه إلا بواسطة مقارنته ببُعد مرجعى .

أجهزة القياس يمكن تقسيمها إلى أربعة أقسام وذلك بالنسبة لنوعية التكبير megnifica-tion المستخدمة فيها وهى أجهزة قياس ميكانيكية وكهربائية وضوئية وهوائية .

أجهزة قياس ميكانيكية Mechanical measuring devices

فى هذا النوع من الأجهزة يكون التكبيربطريقة ميكانيكية باستخدام التكبير بالأذرع levers ، التروس gears .. وخلافها . ومن أمثلة هذا النوع مبينات القياس dial indicator أجهزةقياسات الأقطار الداخلية Bore gauges .. إلخ .

أجهزة قياس كهربائية Electrical measuring devices

فى هـذا النوع من الأجهزة تستعمل الطاقة الكهـربائية فى عملية القياس . ومن المعتاد فى مثل هـــذه الأجهزة أن تجرى عملية القـــياس بطريقـة ميكانيكيـة كحركة المجس أو عـامود الجهـاز ، ولكن تتحول هـذه الحركة إلى تغير فى إحـدى العناصر الكهـربائيـة كشدة التيـار أو الفـولت أو خلافهمـــا . وفى المعتاد يتم تكبيرهـا قبـــل قـراءتها أو تسجيلها . هـذا النـوع من الأجهزة لـه ميزة تفوق الأجهـزة الميكانيكية والضــوئية فى أنه يمكن قراءة النتـائج أو تسجيلها بعيـدًا عن المـكان الـذى يتم فيـه أخـذ القـراءات . من أمثـلة هـذا النـوع من الأجهزة أجهـزة المقارنة الكهربائية Electrical comparator وأجهـزة قيـاس تشطيب الأسطح Talysurf ، Perthometer .

أجهزة قياس ضوئية Optical measuring devices

يتم التكبير فى هذه الأجهزة بطريقة ضوئية باستخدام المرايا أو العدسات كما هو الحال فى أجهزة المقارنة الضوئية Optical comparator وأجهزة التكبير Projector .

أجهزة قياس هوائية : Pneumatic measuring devices

من الأمثلة الشائعـة كهذا النوع الذى يستخدم ضغط أو معـدل الهواء فى عمليةالقياس هو جهاز سولكس Solex . وهذا النوع من الأجهزة له ميـزة عن باقى الأنواع فى أنه لا يحدث أى احتكاك بين مجسات القياس والجزء المراد قياسه كما أنه لا يحدث فيه أى حركات ميكانيكية مما يزيد من دقته .

محددات القياس : Limit gauges

عنـد إنتـاج كميات كبيرة من منتـج ما فإنـه ليس اقتصـاديًـا تكـرار قياس أبعـاد هـذه الكميات للتحقق من سلامة المنتج . ونظرًا لأنه فى أغلب الأحيان لا يهم معرفة البُعد الحقيقى للمنتج حيث أنه يكتفى بالتأكد من أن أبعاده تقع فى حدود التفاوت المسموح به لذا تستخدم معـدات قيـاس تعرف بمحـددات القيـاس التى بـواسطتهـا يمكن التحقق من أن البُعـد أو الشكل المراد قياسـه أكبر أو أصغر من بُعد أو شكل المحدد . لـذا للتحقق من أن البُعد المراد قياسه يقع بين حدين يلزم استخدام محددان أحدهما ذات بعُد مصمم على أساس البُعد الأدنى للمنتج والثانية مصممة على أساس البُعد الأقصى للمنتج .

مثال هذا النوع محددات القياس المستخدمة للوالب والسلبيات وخلافها .

ماكينات القيا س : Measuring machines

تستخدم هـذه الماكينات فى مختلف أنـواع القياسـات . وهى وحدة متكـاملة من نـاحية التصـــميم وكـذلك احتوائـها على تدريـج مرجعـــى للـــقراءة المبــاشرة . ومثال لهـــذا لنوع ميكروســـكوبات القـــياس العامـة Universal measuring microscops وماكـــينة الماتركس Matrix machine .

نوعيات أخرى :

هنـاك نوعيـات أخرى من معـدات القيـاس وفيها يستخـدم الأشعة السينيـة X_ rays والأشعة الجيمية gamma rays .. إلخ .

تعاريف عامة واصطلاحات :

عند اختيـار معدات القياس لقيـاس بُعد ما فإنـه يلزم أن يكون هـذا الاختيار مبنى على دراسة للمـواصفات والتعـاريف المختلفة لـلأجهزة وكـذلك على منابع الخطـأ فيها . فيما يلى بعض التعاريف التى ترد دوامًا مع استعما ل معدات القياس .

قيمة وطول التدريج : Scale value and scale division

يعرف طول التـدريج على أنه طول المسافة – مقاسـه بالمليمتر – المحصورة بين تقسيمين متتاليين على التـدريج . أما قيمة هـذه المسافة فإنـه يقصد بها قيمة التـدريج . ولتوضيح ذلك فإنه إذا نظـر إلى ساعـة قياس مثلاً فإن قيمـة التدريج فيها – وهى أصغـر قيمة يمكن قـراءته عليها – قـد يكون ١ ٠ر٠ مم فى حين أن طـول ذلك التدريـج قد يكون فى حـدود ٢ مم . يجب ملاحظة أنـه عند استخدام أجهزة القياس الضـوئية يكون طول التـدريج الظاهرى apparant مساويًا للطول الحقيقى مضروبًا فى قيمة التكبير .

طاقة التدريج : Measuring capacity

طاقـة التدريج هى أقصى قراءة يمكن أخذهـا على التدريج وبالتالى فإنها تسـاوى عدد الأقسام على التدريج مضروبًا فى قيمة التدريج .

الخطيـة : Linearity

حتى يكون الجهاز صالحًا تمامًـا للاستعمال لابد أن يكون أقسامه مـدرجة بالتساوى على التـدريج ولـذا فعند رسم العـلاقـة بين ال قـراءات المختلفـة المأخوذة على التـدريج وقيمتهـا الحقيقيـة فإن العلاقـة لابد وأن تكـون خط مستقيم زاويـة ميله على المحـور السينى X-axis تساوى ٤٥° وتقاطعه مع المحور الصادى Y-axis يمثل قيمة الخطأ الصغرى zero error فى الجهاز . هناك حالات أخرى قد نحصل عليهـا عند إجراء عملية المعايرة Calibration وهى أن يكـون زاويـة ميـل الخط مثـلاً أقل أو أكبر من ٤٥° وهـذا لا يعنى أن الجهـاز غير صـالح للاستعمال ولكن يلـزم تعدين قيمة التـدريج فيه . أما إذا كانت العـلاقة غير خطية فإنـه يلزم تحديد مجال القيـاس measuring range ومجال القيـاس يعرف على أنـه الجزء من التـدريج الذى إذا عوير تكون العلاقة فيه خطية وهو الجزء الواجب استخدام الجهاز فى حدوده .

طاقة المعدة Equipment capaxity

هى أقصى بُعد أو وزن يمكن قياسه على معـدة القياس المستخدمة . وكمثال لما سبق إذا ثبتت سـاعة قيـاس على حامـل فإن طاقـة المعدة فى هـذه الحالـة يكون أقصى ارتفـاع يمكن الحصول عليه بين مجس الساعة وسطح القاعدة المثبت عليها الحامل .

ضغط التلامس Measuring Force

هو القوة الناشئة بين عمود أو مجس الجهـاز مثلاً وسطح المشغولة المراد قياسها ، وتتسبب هذه القـوة فى قراءات خـاطئة نتيجة التغير الـذى يحدث فى شكل المشغولـة وكذلك التغير فى أجزاء الجهاز نفسه . ويجب ملاحظة أن هـذه القوة غير ثابتة على امتداد التدريج وذلك للتغير المستمر فى طول الياى المولد لهذه القوة .

ضبطية المعدة Precision

نعنى بالضبطيـة هنا تكراريـة العملية القيـاسية . أى إذا أخذت عـدة قراءات على نفس البُعد وكانت القراءات كتماثلة تمامًا فإنه يقال أن الجهاز المستعمل مضبوط precise .

الدقـة Accuracy

الدقة هى مطابقة القراءة المأخوذة على الجهاز مثلاً بالقيمة الحقيقية للبُعد المقاس . الفرق بينهما إن وُجـد يعرف على أنـه الخطأ فى المقاس . وهـذا الخطأ Error يمكن تنويعـه إلى الثلاثة أنواع التالية :

الخطأ العشوائى Random error

هذا الخطأ يحدث بطريقة عشوائيـة لا يمكن التكهن بها ومن الصعب استنباطه . وأمثلة من مسببات هذا الخطأ هو التخلفية hysteresis ، التغير فى شكل المشغولة ، التغير فى بعض الظروف المحيطة أثناء المقاس .

الخطأ الرتيبى systematic error

هو خطأ ينتج نتيجة طـريقة القياس المستخدمة كخطأ فى معايـرة الجهاز المستخدم مثلاً أو وجود عيب بمجسات القياس وغيرها . ويجب مـلاحظة أن هذا النوع من الأخطاء ليس من العادة اكتشافه عند تكرار عملية القياس .

الخطأ الثابت constant error

ذلك النوع إما أن يؤثر بقيمة ثابتة أو متناسبة مع البُعد المقاس على القراءة المبينة .

الحساسية Sensitivity

الحساسية هى النسبة بين حركة المؤشر مقاسـه بالمليمتر أو بطول التدريج والتغير المناظر فى البُـد الحقيقى . وكما هو واضـح فهى تتأثر بـالتكبير المستعمل بـالجهـاز والحساسيـة يمكن معرفتها على أنها قدرة الجهاز للإحساس بالتغيرات الصغيرة فى البُعد .

من المهم ملاحظة أن الحساسية متعلقة بالمعدات المستخدمة فى حين أن الضبطية والدقة متعلقين بعملية القياس نفسها ، ولذا فيمكن القول أن أكثـر المعدات حساسية قد لا يؤدى إلى أضبط أو أدنى النتائج .

عوامل تؤثر فى الدقة :

فى أى عملية قياس يجب اختيار الأجهزة بحيث تكون دقتها مرتبطة بمدى الدقة المطلوبة فى قياس الجزء المراد قياسه ، فمثلاً إذا كانت الدقـة المطلوبة هى ٠١ر٠ مم عند قياس سدادة أسطوانية cylindrical plug فمن الممكن استخدام الميكرومتر العادى أمـا إذا كانت الدقة المطلوبـة فى القياس هى ٠٠١ر٠ مم (١ ميكـرون) فإن استخدام مثل هـذا الميكرومتر لا يفى بالغـرض المطلوب ولذلك وجب استخـدام أجهزة أخـرى بحيث يمكن قراءة الكسر العشرى التالى للدقة المطلوبة عليها (أى يمكن قراءة الجهاز حتى ٠٠٠٥ر٠ مم) .

العكس أيضًا صحيح فلا يجب استخدام جهاز ذو دقة عالية جدًا فى قياس الأبعاد غير المطلوب فيها دقة عالية .

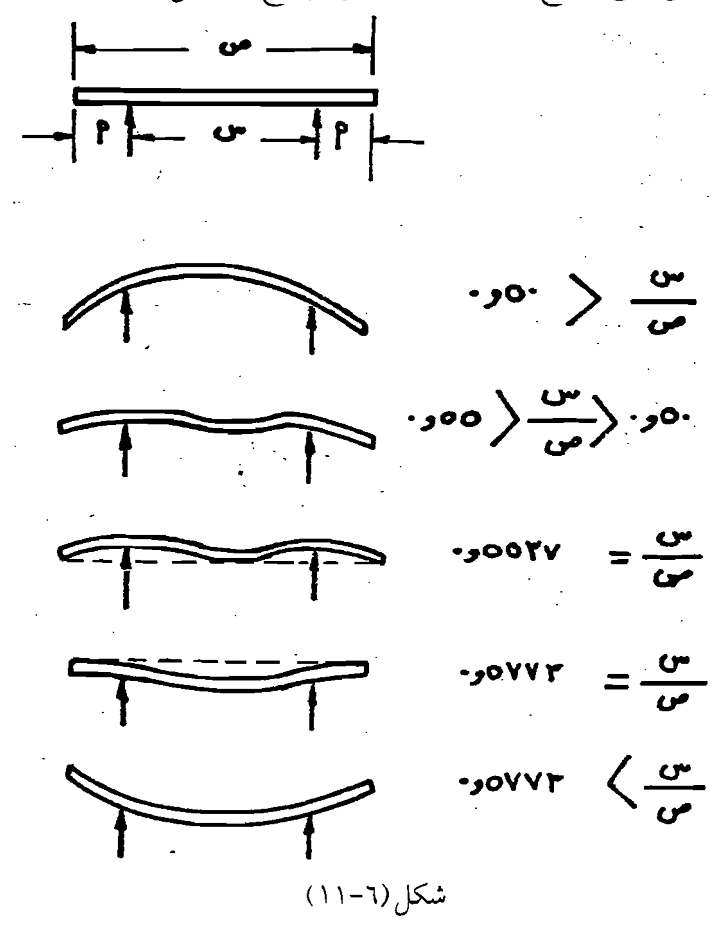
ومن أهم العوامل التى تؤثر فى مدى دقة القياس تلك العوامل التالية :

تأثير درجات الحرارة : Effect of Temperature

درجة الحرارة القياسية هى ٢٠° م (٦٨° ف) وكل محددات القياس المرجعى Reference Gauges تصنع ليكون بُعدها صحيحًا عند هذه الدرجة .

تأثير كيفية الركائز ومواضعها : Effect of Supports

عند تثبيت أى قضيب أو جزء هندسى على ركائز فإن هذا الجزء ينحنى ومقدار انحنائه يتوقف على الأماكن التى توضع فيها الركائز كما هو موضح بالشكل (٦-١١) .

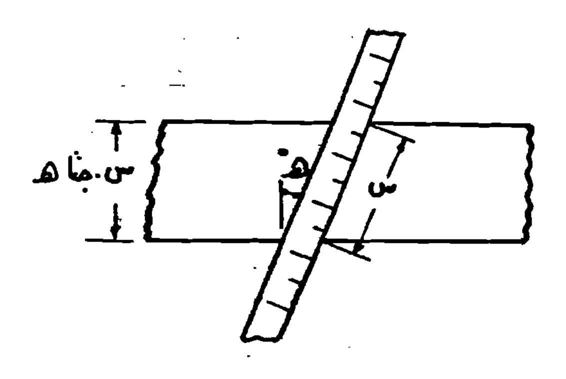


شكل (٦-١١)

حيث أن البُعد س هو المسافة بين الركيزتين والبُعد ص هو الطول الكلى للقضيب علمًا بأن البُعد بين طرفى القضيب والركائز متساوية .

تأثير عدم الاستقامة الطولية : Effect of Misaligrment

عند استعمال مسطرة قياس مثلاً لقياس أى بُعد وحين لا تكون المسطرة منطبقة تمامًا على البُعد المراد قياسه فإنه يتولد خطأ فى الطول قدره « جتا الزاوية » وبالنظر إلى الشكل (٦-١٢) يتضح أن البُعد المسجل يزيد عن البُعد الحقيقى بمقدار ((١ - جتا هـ) ٠ س)



شكل (٦-١٢)

ضغط التلامس : Contact pressure

يعرف ضغط التلامس على أنه الضغط الموجود بين فك الجهاز وسطح الجزء المراد قياسه . وهو يسبب عادة خطأ فى البُعد المقاس مثلاً عند استعمال ميكرومتر خارجى لقياس مشغولة تتغير قراءة الميكرومتر تغيرًا كبيرًا بالنسبة لتغير القوة المؤثرة على المشغولة عن طريق فك القياس والتغير فى القراءة يكون بسبب اعوجاج هيكل الميكرومتر أو المشغولة .

ولتقليل هذا الخطأ فإن الأجهزة الدقيقة أصبحت مصممة بحيث تعمل ببيات تتأثر بمجرد الضغط البسيط . فمثلاً أجهزة المقارنة يكفى ضغط قدره حوالى ٢٠٠ جم لتصبح قراءة المبين صفرًا . كذلك تعمل محددات القياس ذو القرص المدرج فى بداية حركتها بضغط قدره حوالى ٥٠ جم يزيد حوالى ٢٠ جم لكل حركة مقدارها $\frac{١}{١٠}$ عشر بوصة .

القياسات الزاوية

مقـدمة :

أساس قياس الزوايا يعتمد على قوالب قياس الـزوايا . ويمكن قياس الزوايا بطرق مباشرة باستخـدام محددات أو أجهزة مصنـوعة خصيصًا لهذا الغـرض مثل : قوالب الـزوايا ، قضيب الجيب ، لوحة قيـاس جيب الزوايا ، مناقل الـزوايا ، الموازين الحساسة ذات الفقـاعة ، أجهزة مقارنة الزوايا كجهاز الأوتوكليماتور ، أجهزة التقسيم الزاوية .

ونظرًا لأنه يمكن قراءة الزاويـة مباشرة على جميع هذه الأجهزة فإن الجزء الأول من هذا الباب سوف يشمل شرحًا لهذه الأجهزة فقط ، كما يمكن قـراءة الزاوية بطرق غير مباشرة وذلك باستخدام اسطوانات أو أقراص مرجعية .

القياس بالطرق المباشرة :

قوالب قياس الزوايا : Angle gauges

تصنع قوالب قياس الزوايا من صلب عالى النقاوة وتجرى عليه عمليات تشطيب وتحضين للحصول على درجة الدقة المطلوبـة . وتشبه هذه العمليات إلى حد كبير تلك التى تجرى على قوال القياس الطولية .

تنتج هذه القوالب مجموعات منها المجموعات التالية :

المجموعة الأولى :

قالب من كل من ١° ، ٣° ، ٩° ، ٢٧° ، ٤١°

قالب من كل من ١′ ، ٣′ ، ٩′ ، ٢٧′

قال من كل من ١ر٠′ ، ٣ر٠′ ، ٥ر٠′

ويمكن باستعمال هذه المجموعة مع الاستعانة بقالب مربع Square block تكوين أى زاوية بدقة ١ر٠ دقيقة كما فى الشكل (٦-١٣) .

المجموعة الثانية :

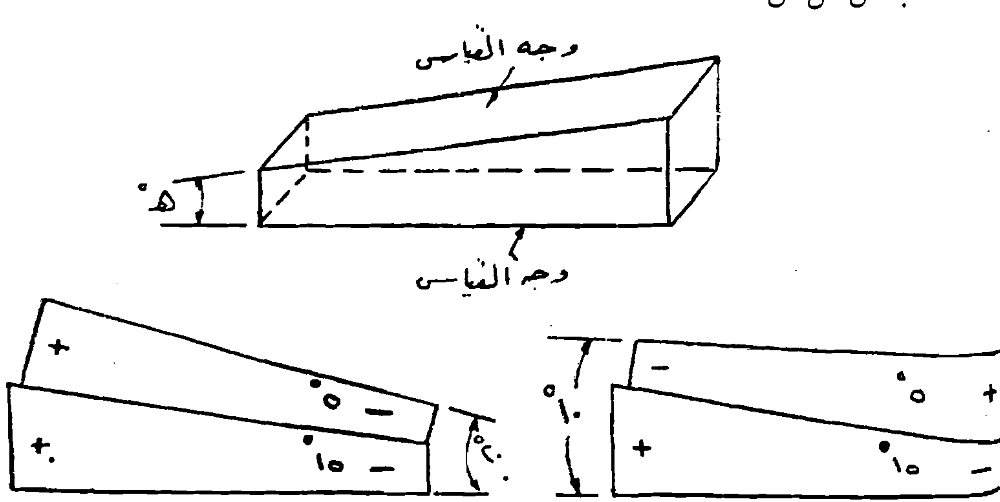
فبـالإضافـةإلى نفس القوالب السـابقة يـوجد قـالب بزاويـة ٠٥ر٠ دقيقة أى أنـه يمكن تكوين أى زاوية بدقة تصل إلى ٠٥ر٠ دقيقة .

المجموعة الثالثة تتكون من القوالب التالية :

قالب من كل من ١° ، ٣° ، ٥° ، ١٠° ، ٣٠° ، ٤٥°

قالب من كل من ١/ ، ٣/ ، ٥/ ، ١٠/ ، ٢٥/ ، ٤٠/

قالب من كل من ٢٠// ، ٣٠// .



شكل (٦-١٣)

وكمثال إذا كان المطلوب تكوين زاوية قدرها ٨° ٢٩/ ٣٤° من أى المجموعتين الأولى والثانية فإنه يمكن الحصول على هذه الزاوية باستخدام القوالب التالية :

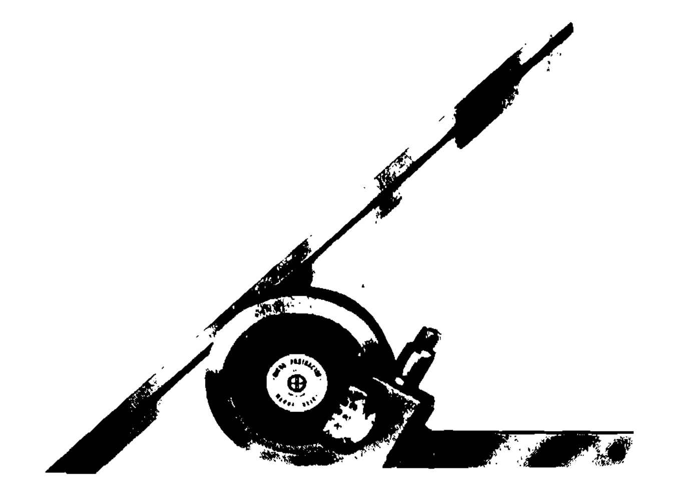
٢٧° + ٩° - ٣° + ١° + ٢٧/ + ٣/ - ١/ + ١ر٠/ + ٠٥ر٠/

المناقل : Protractors

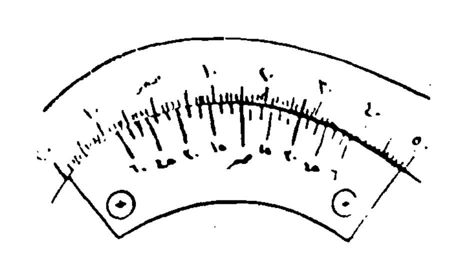
هناك أنواع عديدة لمناقل قياس الزوايا أهمها الأنواع الثلاثة التالية :

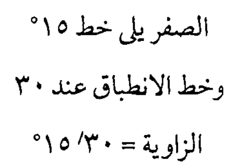
(أ) المنقلة ذات الورنية : Vernier Protractor

الشكل (٦-١٤) يبين صورة فوتوغرافية لهذا النوع من المناقل فى حين يبين الشكل (٦-١٥) طريقة تقسيم الورنية . ويقسم التدريج الثابت إلى درجات حيث يؤخذ ١٣ قسم عليه ويعاد تقسيمها على التدريج المنزلق إلى ١٢ قسم متساوية . وعليه يكون الفرق بين كل قسمين على التدريجين هو $\frac{١}{١٢}$. لقراءة المنقلة تقرأ الزاوية على التدريج الثابت ثم ترصد عدد الأقسام (على التدريج المنزلق) التى تسبق خط انطباق أيٍ من التداريج على المنزلقة وأى من التداريج على الثابت .



شكل (٦-١٤)




الصفر يلي خط ١٥°
وخط الانطباق عند ٣٠
الزاوية = ٣٠′ ١٥°

شكل (٦-١٥)

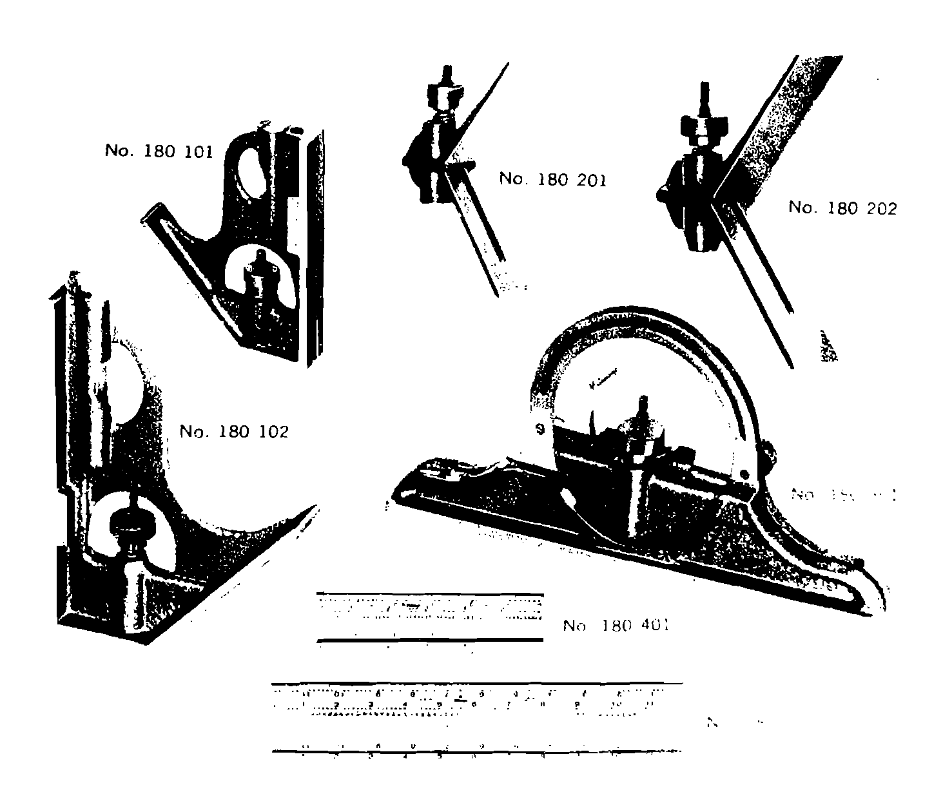
(ب) المنقلة الضوئية : **Optical protractor**

الشكلان (٦-١٦ ، ٦-١٧) يبينان صورتان فوتوغرافيتان لنوعين من المناقل وفى كليهما يتضح أن قيمة التدريج هى ٥ وتصل الدقة فيهما إلى ± ٥″ وعادة يكون طول الحد إما ١٥٠ مم أو ٣٠٠ مم .

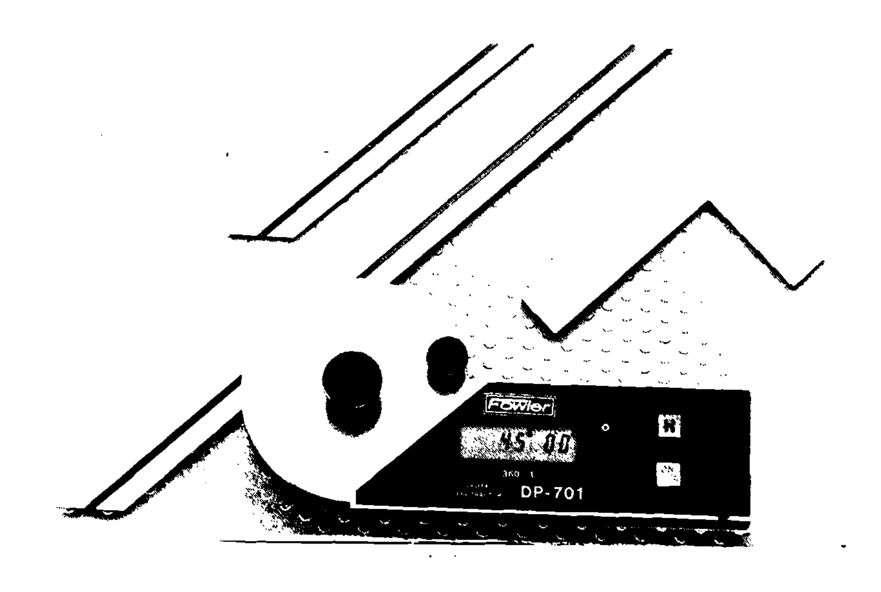
(جـ) المنقلة ذات الساعة **dial protractor**

الشكل (٦-١٨) يوضح شكل منقلة القياس ذات الساعة وفيه يتم قراءة الزاوية على ساعة القياس الزاوية . وقيمة التدريج عادة فى هذا النوع يكون ٥/ .

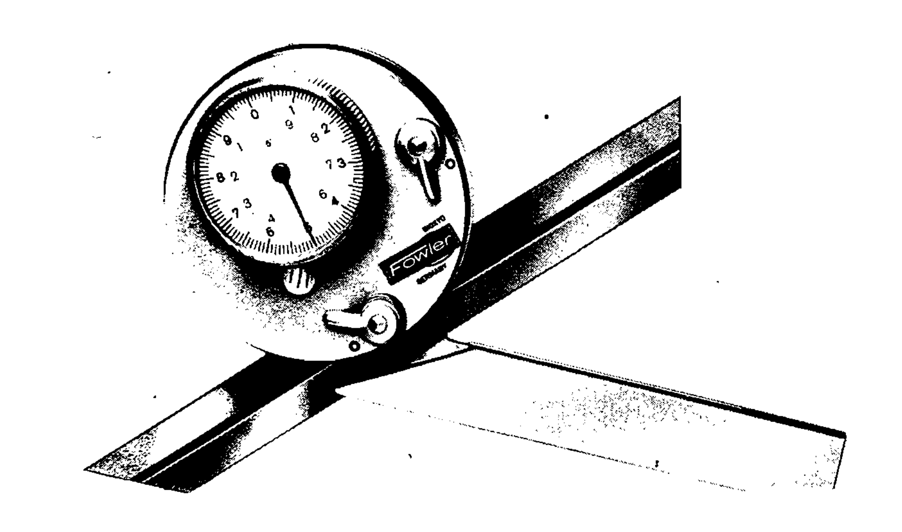
أما الشكل (٦-١٩) فيوضح بعض الاستخدامات المختلفة لقياس زوايا االمشغولات المبينة بواسطة مناقل القياس .



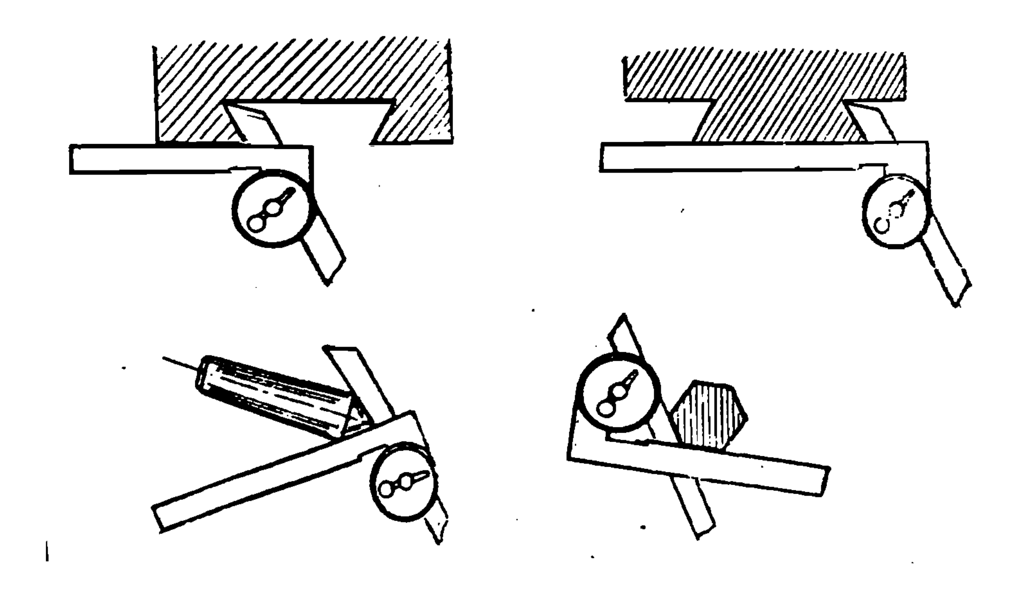
شكل (٦-١٦)



شكل (٦-١٧)



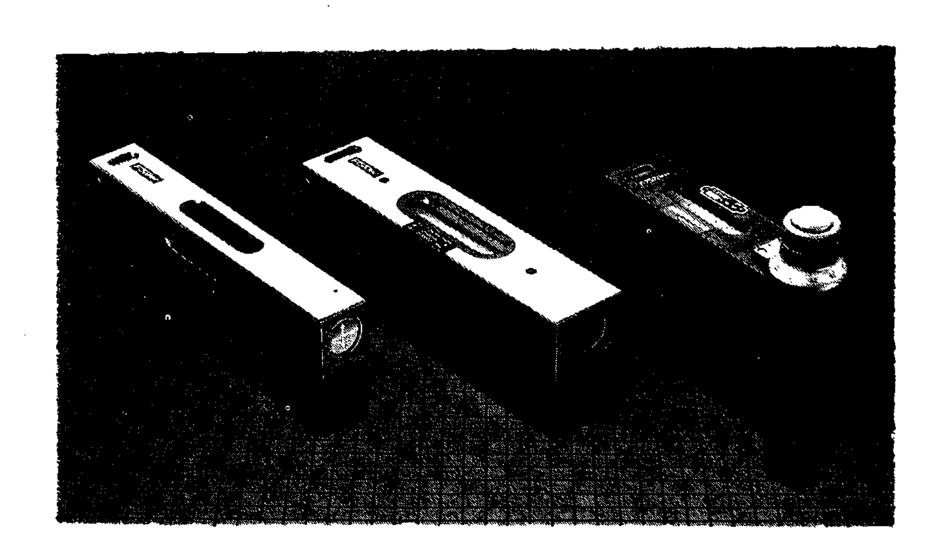
شكل (٦-١٨)

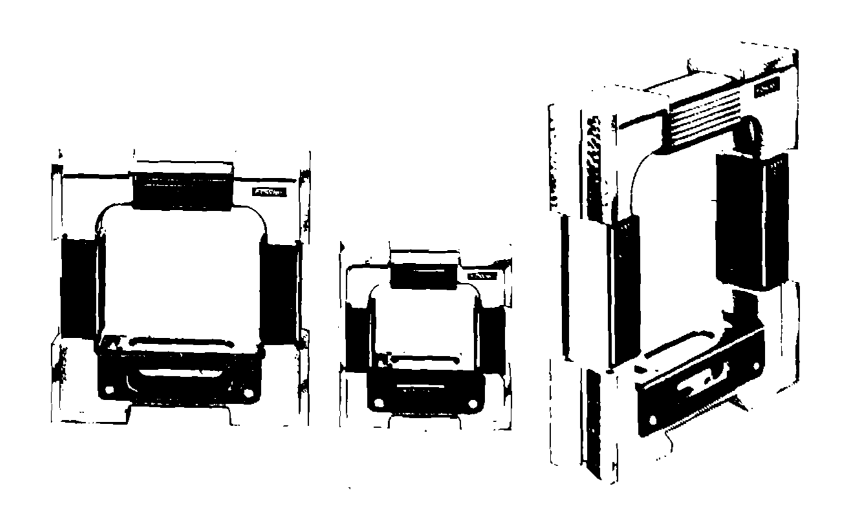


شكل (٦-١٩)

جهاز قياس الميل ذو الفقاعة : Sensetive leve

تستعمل هـذه الأجهـزة فى مجالات متعـددة أهمهـا اختبـار استـواء واستقـامـة وتعـامـد المشغولات وكذلك فى قياس الـزوايا . ولقد خصصت الهيئة المصرية العامـة للتوحيد القياسى المواصفة م ق م ٧٧٧/ ١٩٦٦ لتحديد أنواع هذا الجهاز ومدى دقته ومعايرته وخلاف ذلك .





شكل (٦-٢٠)

وهناك ثـلاثة أشكال لهذا الجهـاز هى الموضحة فى الشكل(٦-٢٠) ويتكون هـذا الجهاز كما هو مبين من الجسم ويصنع عادة إما من الصلب أو الحديد الزهر أو النحاس الأصفر . كما يتكون من أنبوبة القياس التى تصنع من زجاج شفـاف نقى معامل حراريًا لإزالة الإجهادات الداخليـة ثم تملأ بسائل لا يتفاعل مع الـزجاج فى حالة السيـولة حتى - ٤٠° . هذه الأنبـوبة مشكّلة ليصير سطحها كرويًا .

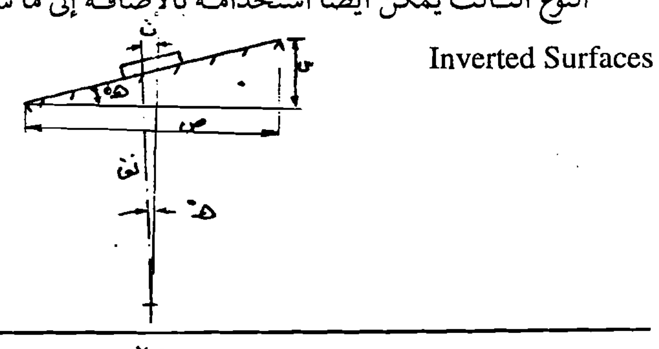
هناك ستة فئات للأجهزة درجة حساسيتها هى المعطاه فى الجدول التالى :

النوع	الفئة	الحسا سية مم / م
أ	١	من ٠٣,٠ إلى ٠٥,٠
	٢	أكبر من ٠٥,٠ إلى ١,٠
	٣	أكبر من ٠١,٠ إلى ٢,٠
	٤	أكبر من ٠٢,٠ إلى ٤,٠
ب ، ج	٥	أكبر من ٠٤,٠ إلى ٨,٠
	٦	أكبر من ٠٨,٠ إلى ٦١,٠١

بالنسبة للنوع الأول فإن قاعدته المصنوعـة من الصلب عادة ما تكون مشطبة تشطيبًا عالى الدقة ولها درجـة صلادة حوالى ٥٨ روكوبل ، ويستخـدم هذا النوع عادة مع قـوالب قياس فى اختبار السطوح الأفقية .

النوع الثانى قـاعدته المصنوعة إمـا من الحديد الزهر أو النحـاس الأصفر بها مجرى طولى على شكل « ٧ » زاويته ١٢٠° كما هو مبين بالشكل ويستخدم لاختبار ميل الأسطح المنحنية .

النوع الثـالث يمكن أيضًا استخدامـه بالإضافـة إلى ما سبق فى اختبار الأسطح المقلـوبة Inverted Surfaces



الباب السابع

التنظيم الصناعى

أ. د/ أمين الخربوطلى

مفهوم التنظيم :

تعددت المفاهيم العلمية للتنظيم حتى أصبح من الصعب حصرها جميعًا . ولكن يمكن القول ، بوجه عام ، بأن هناك ثلاثة اتجاهات فكرية رئيسية لتعريف مفهوم التنظيم وهى :

١ - مفهوم التنظيم الكلاسيكى والذى ينظر إلى التنظيم على أنه عملية أو مرحلة تقسيم العمل إلى أجزاء بما يمكن من إسنادها إلى شخص أو أشخاص للقيام بها . ومن هذا الفكر فإنه يمكن تصنيف الأعمال إلى نوعياتها المختلفة ، مثل الأعمال التنفيذية والاستشارية ، وتجميعها فى مجموعات يسهل الإشراف عليها بفاعلية لتحقيق أهداف المنشأة .

٢ - المفهوم الكلاسيكى الحديث والذى ينظر إلى التنظيم على أنه منظمة تضم مجموعة من الأفراد ويكون العامل الحاكم فيها هو دوافع ومصالح وصراعات وردود أفعال مجموعة الأفراد .

٣ - الاتجاه الثالث وهو المعروف بنظرية النظم والذى ينظر للمنظمة على أنها نظام يضم مجموعة مرتبطة بعضها ببعض والتى يجب التعامل معها كوحدة واحدة .

وعمومًا فإنه بعيدًا عن الجوانب السلوكية للأفراد ، وبعيدًا عن النظرية الكلاسيكية للتنظيم يمكن القول أن التنظيم هو أداة الإدارة فى تحقيق الأهداف أو أنه ذلك الشىء الذى يحدد العلاقة بين مكونات المنشأة والذى يهتم بمجموعة الإجراءات واللوائح وتدفق البيانات والمعلومات ويُوصف عمل الأفراد ويحدد العدد المقرر من الأفراد لكل وظيفة لكى تتمكن الإدارة من تحقيق الأهداف التى من أجلها قامت المنشأة. ومن هذا المنطلق فإن التنظيم أداة هدفها النهائى إلغاء القوى التى تعرقل التضامن الإنسانى . ويتراوح شكل التنظيم الإدارى من منشأة إلى أخرى طبقًا لمجموعة اعتبارات منها على سبيل المثال :

١ - اعتبارات خاصة بقدرة الإدارة على إحكام الرقابة على موارد المنشأة والعمليات التى تقوم بها . ويظهر هذا واضحًا فى حالة المنشآت الضخمة التى تضم أعدادًا كبيرة من العاملين وتتنوع فيها الاختصاصات .

٢ - اعتبارات خاصة بمتطلبات السوق ، فالتنظيم الذى يتعامل مع إنتاج وتسويق منتجات مستقرة مع السوق يختلف عن التنظيم الذى يتعامل مع سلعة أو منتج يواجه منافسة حادة .

٣ - اعتبارات خاصة بنظام الإنتاج ، فالتنظيم الذى يصلح لنظام الإنتاج بالطلبية يختلف عن التنظيم الذى يتعامل مع نظام الإنتاج المتقطع ويختلف أيضًا عن ذلك الذى يتعامل مع نظام الإنتاج المستمر (الإنتاج الكبير) .

٤ - اعتبارات خاصة بالتكنولوجيا المستخدمة فى الصناعة والتى تؤثر على شكل التنظيم فشكل التنظيم لمنشأة تستخدم النظم الأتوماتيكية يخلف عن تنظيم منشأة تعمل باستخدام النظم اليدوية .

٥ - اعتبارات خاصة بمدى استقرار الأسواق ، فهناك اختلاف بين تنظيم يعمل فى سوق مستقر عن تنظيم يعمل فى سوق متقلب .

المبادىء الأساسية للتنظيم :

هناك عدة مقاييس للتنظيم الجيد أشار إليها علماء الإدارة والتى يمكن تلخيصها فى توافر المبادىء الآتية فى التنظيم :

١ - **وحدة الهدف** : حيث يجب أن يكون للمنشأة ككل هدف واحد تسعى لتحقيقه .

٢ - **وحدة السلطة** : حيث يجب ألا يتلقى المرؤوسين أوامر أو تعليمات من أكثر من قائد أو رئيس داخل المنظمة .

٣ - **مستويات السلطة** : حيث يجب أن يكون واضحًا بالتنظيم تناسب ببين المستوى الوظيفى وسلطة اتخاذ القرار فلكل مستوى وظيفى حدود للسلطة .

٤ - **تدرج السلطة** : السلطة هى أساس العملية التنظيمية ، والتنظيم يقوم أساسًا على مبدأ تفويض السلطات ، وبالتالى فإن السلطة تتدرج من المستويات العليا بالتنظيم إلى المستويات الأقل . ويحدد حدود السلطة الممنوحة طبيعة العمل وحجم المنشأة .

٥ - **المسئولية** : يعتبر المرؤوس مسئولاً أمام رئيسه عن المهام التى توكل إليه ولا يجوز تجزئتها حتى لا تضيع المسئولية بين أفراد المنظمة .

٦ - **السلطة والمسئولية** : يجب أن تكون المسئوليات الملقاة على عاتق أى فرد فى المنظمة تتناسب مع قدر السلطة الممنوحة له ، أى أنه يجب أن يكون هناك توازن بين الاثنين .

٧ - **نطاق الإدارة** : يجب أن يكون عدد المرؤسين لكل رئيس فى حدود معينة تتناسب مع طبيعة العمل وكفاءة المدير والمستوى الإدارى . وينطبق هذا على جميع المستويات الإدارية بالتنظيم . فكلما انخفض المستوى الإدارى كلما كان من المستطاع زيادة عدد المرؤسين والعكس صحيح .

٨ - **تقسيم العمل** : وهو مبدأ أساسى لأى منشأة خصوصًا عند زيادة وتعقد وتنوع اختصاصاتها . ويجب أن يتم تصنيف الأعمال بعد تقسيمها بهدف تحقيق أعلى قدر من الكفاءة .

٩ - **التوازن بين وحدات التنظيم المختلفة** : ويعنى هذا أن تتوازن الأعمال الرقابية مع الأعمال التنفيذية ، ويتوازن أيضًا حجم الأعمال التنفيذية مع حجم الأعمال الاستشارية وهكذا .

١٠ - **المرونة** : وتتحقق المرونة عن طريق قدرة المنشأة على مواكبة التغيرات الطارئة أو المتوقعة فى المناخ والظروف العالمية مثل التطورات الاقتصادية والتكنولوجية وأبرز مثال على ذلك هى التطورات العالمية فى تغير توزيع القوى الاقتصادية فى العالم كما حدث مؤخرًا وكنتيجة لنظام التجارة العالمى الحر المعروف باتفاقية الجات أو نظم توكيد الجودة المعمول بها عالميًا والمعروف باسم الأيزو .

١١ - **الاستمرار** : يجب أن يبنى التنظيم على أساس استمراريته ونمائه والتى يمكن تحقيقها عن طريق التنمية الإدارية والقدرة على مواكبة التكنولوجيا وملاحقة التطورات العالمية .

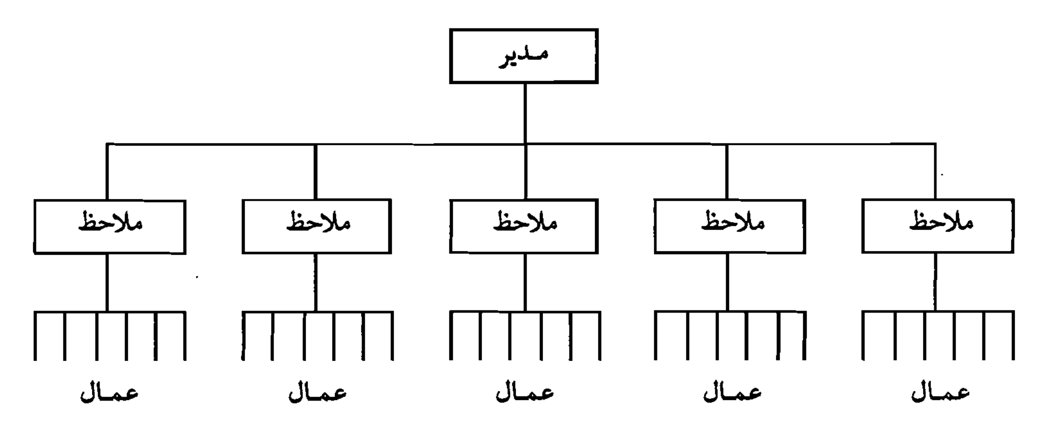
١٢ - **تحديد الوظائف** : يجب أن تكون الوظائف محددة تحديدًا دقيقًا مع مراعاة أى تطورات أو توسعات مستقبلية قد تلقى أعباء جديدة أو إضافية على عاتق العاملين بالمنشأة .

أنماط الهياكل التنظيمية :

هناك عدة أنماط من الهياكل التنظيمية تبين التطور الذى حدث منذ بداية ظهور علوم الإدارة ومن أهم هذه الأنماط الآتى :

١ - التنظيم الخطى (التنظيم العسكرى) :

وهو أول أنماط التنظيم التى استخدمت فى تنظيم الجيوش منذ قديم الزمن ولذلك أطلق عليها اسم التنظيم العسكرى . وقد استخدم هذا النوع من التنظيم فيما بعد فى الورش والمصانع والشركات الصغيرة . ويبين الشكل رقم (٧-١) نموذجًا لمثل هذا النوع من التنظيم والذى يمثل ورشة بها عدد من الملاحظين يعملون تحت قيادة مدير ويتبع كل ملاحظ مجموعة من العمال .



شكل رقم (٧-١) التنظيم الخطى لورشة

ويلاحظ فى هذا النوع من التنظيم أن الأعباء التى يقوم بها كل ملاحظ متشابهة تمامًا ، فهو فى هذه الحالة يكون مسؤولاً ، على سبيل المثال ، عن تخطيط العمل وتحميل المعدات وصيانتها وتدريب العمال وتوزيع العمل عليهم بجانب مسؤوليته عن إمدادهم بالمواد والعِدد والأدوات ومن ثم مراقبة أعمالهم واتخاذ الإجراءات التصحيحية المطلوبة . وفى هذا النوع من التنظيم يتشابه جميع الملاحظين فى نفس المسؤوليات . كما يقوم العمال بأعمال متشابهة لها نفس المسؤوليات . ويلاحظ أيضًا أن السلطة الممنوحة لكل ملاحظ متساوية مع المسؤولية الممنوحة لكل ملاحظ من الملاحظين الآخرين ، وبالتالى فالملاحظ مع من يتبعونه من العمال يشكلون وحدة متكاملة يمكن تكرارها بالعدد المطلوب . ونفس هذا النظام متبع فى تنظيم

الجيوش فهنـاك قائد ومجموعـة جنود حيث تتكرر هذه الـوحدة فيمـا يسمى جماعـة ، فصيلة ، سرية .. إلخ.

ويمتاز هذا النوع من التنظيم بالمزايا التالية :

١ - البساطة فى التركيب البنائى .

٢ - سرعة انتقال الأوامر والتوجيهات لقصر خطوط (أو قنوات) الاتصال .

٣ - وحدة الأمر .

٤ - وضوح السلطة والمسؤولية .

ولكن يعيب هذا النوع من التنظيم الأتى :

١ - صعوبة صيانة التنظيم فى حالة غياب أى عنصر قيادى فيه .

٢ - عـدم التخصص يؤدى إلى قيـام الملاحظ بأعمال مختلفـة ليس من المتوقع أن يتقنهـا جميعًا فى نفس الوقت وبالتالى يؤدى إلى انخفاض مستوى الأداء للمنشأة على وجه العموم .

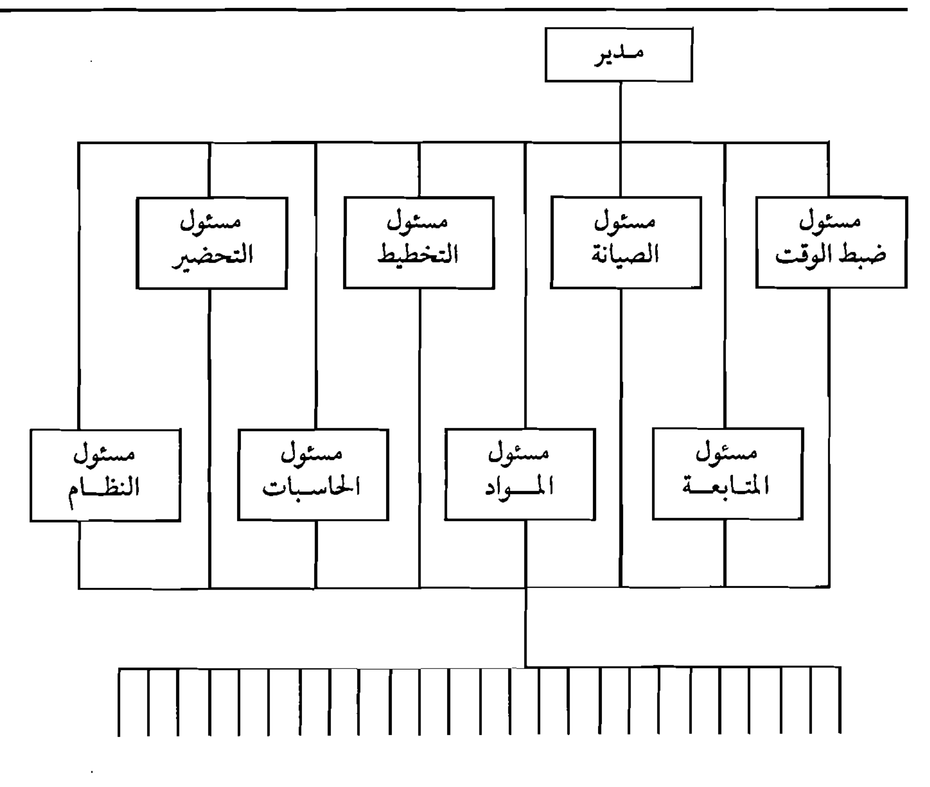
٣ - إدارة النظـام طبقًـا لـلأهـواء الشخصيـة للمـلاحظ ، ففى كثير من الأحيـان يتخـذ الملاحظ قـرارات ضد أو فى صـالح أحـد العاملين بنـاء على طبيعة عـلاقـاته الشخصيـة مع مرؤوسيه .

ومع ذلك فإن هـذا النوع من التنظيم يصلح للمنشآت صغيرة الحجـم والتى لا تحتاج إلى تخصصية عالية .

٢ - التنظيم الوظيفى (تنظيم تايلور) :

قام تـايلور بالأخـذ بمبدأ التخصصيـة فى العمل ، وقسم عمل الملاحظ إلى مجمـوعة من الوظـائف المتخصصـة لكى يسـند كل وظيفـة إلى فـرد متخصص كمـا هـو مبـين بالشـكل رقم (٧-٢) .

والتقسيمات الموضحة بالشكل افتراضيـة ويمكن أن تزيد أو تقل عن هـذا العدد وأيضًا تختلف عن مـا هـو معطى فى الشكل رقم (٧-٢) . والمهم فى هـذا التنظيم أن مجموعـة العمال تتبع مجموعة من الـرؤساء وهى الحالة التى يفقد فيهـا التنظيم وحدة الأمر ، فيمكن أن يتلقى العامل أكثر من أمـر متعارض مع غيره وبالتالى تتوه المسؤوليـة . وهذا النوع من التنظيم يصلح للمنشآت متوسطة الحجم .



شكل رقم (٧-٢) : التنظيم الوظيفى (تنظيم تايلور)

٣ - التنظيم الخطى الوظيفى :

يجمع هذا النوع من التنظيم بين النوعين السابقين بحيث يأخذ مزايا التخصصية فى التنظيم الوظيفى وسرعة انتقال الأوامر ووحدة الأمر وسهولة التنظيم كما هو الحال فى التنظيم الخطى . ويبين الشكل رقم (٧-٣) مثالاً لهذا التنظيم .

ويبين الشكل رقم (٧-٣) المذكور أن وظائف المشروع قد تم تقسيمها طبقًا للتخصصات على أكثر من مستوى بما يحقق التخصصية المطلوبة فى كل وظيفة .

طريقة تقسيم العمل :

الميزة الأساسية فى تقسيم العمل هو احتواء الوظيفة الواحدة على تخصص دقيق والذى من مزاياه :

١ - ارتفاع مستوى الجودة بسبب توافر المهارة اللازمة عند القائم به .

٢ - ارتفاع نسبة احتمال الحصول على شخص متخصص أو يجيد عمل واحد با لمقارنة بحالة أن يكون الشخص متعدد المعارف والتخصصات .

٣ - إلغاء الوقت الضائع الناتج عن تحول الفرد من عمل تخصصى إلى آخر .

ورغم تقسيم العمل فإنه من الضرورى وجود سلطة مركزية للإشراف والتنسيق بين التخصصات المختلفة . ومع كبر حجم نشاط المنشأة وكثرة السلع المتعامل معها والانتشار الجغرافى لنشاطها وكثرة مراحل الإنتاج وتعدد العملاء يصعب على التنظيم تقسيم العمل . ويوجد عدة أسس يمكن تقسيم أوجه النشاط على أساس :

١ - طبيعة العمل .

٢ - كثرة العملاء .

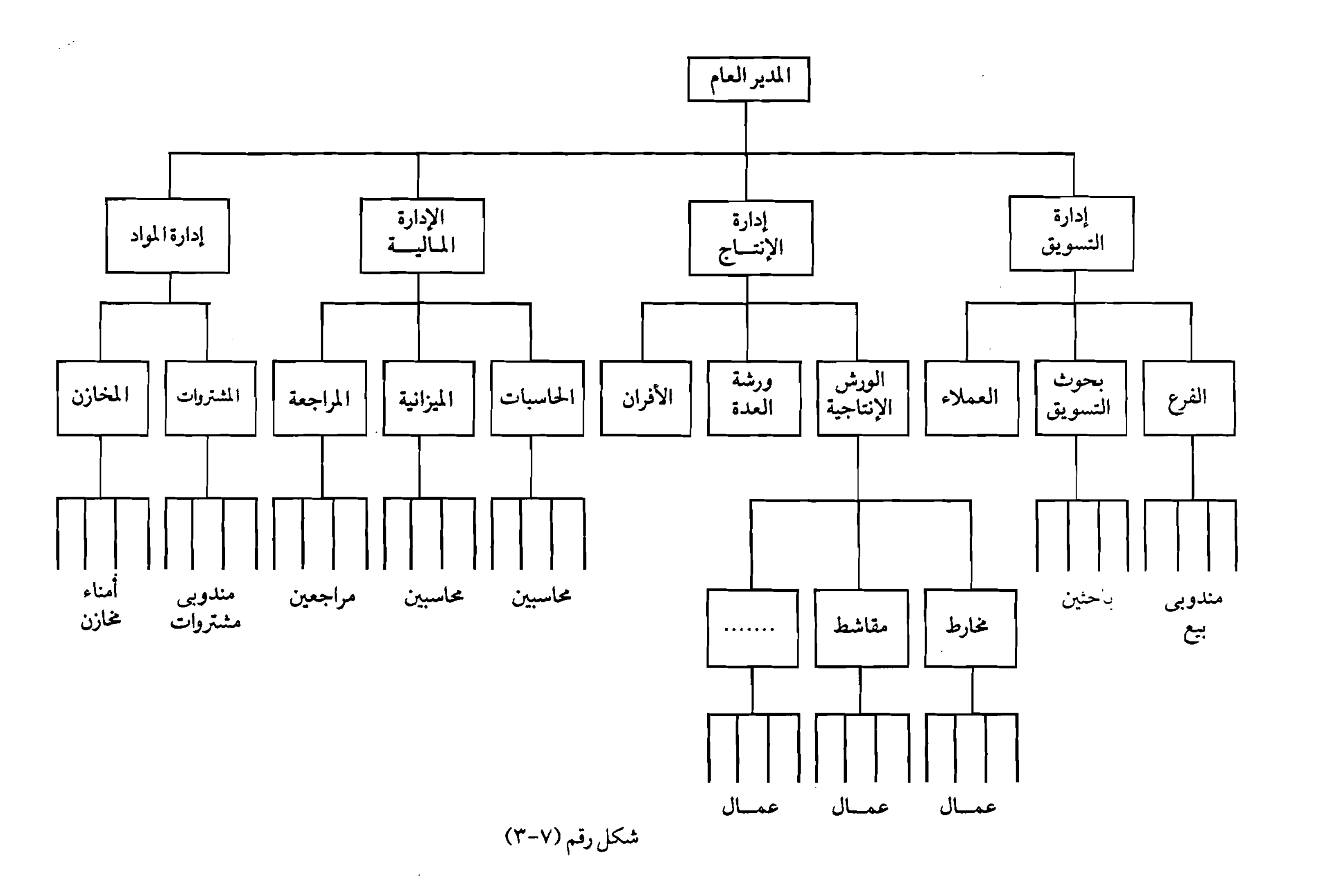
٣ - الموقع الجغرافى .

٤ - المرحلة الإنتاجية أو التسويقية .

٥ - السلعة .

٦ - أكثر من طريقة من الطرق السابقة .

وعلى التنظيم أن يختار أنسب الطرق للتقسيم طبقًا لظروف المنشأة .


المدير العام
إدارة المواد
الإدارة المالية
إدارة الإنتاج
إدارة التسويق
المخازن
المشتروات
المراجعة
الميزانية
الحاسبات
الأفران
ورشة العدة
الورش الإنتاجية
العملاء
بحوث التسويق
الفرع
أمناء مخازن
مندوبى مشتروات
مراجعين
محاسبين
محاسبين
....
مقاشط
مخارط
باحثين
مندوبى بيع
عمال
عمال
عمال

شكل رقم (٧-٣)

الباب الثامن

حساب التكاليف

دكتورة/ ناهـد حسين عافيـة

٨-١- عناصر التكاليف :

يمكن تقسيم عناصر التكاليف حسب نوعيتها إلى تكلفة مواد خام وعمالة ومصروفات عامة (أو إضافية) .

٨-١-١- تكلفة المواد الخام :

هى ثمن المادة الخام التي تدخل فى عملية الإنتاج سواء كانت مادة تامة الصنع أو مادة سيتم تصنيعها داخل المصنع أو مادة سيتم تصنيعها داخل المصنع أو مادة مستهلكة مثل الزيوت والشحوم .

وفى كل الأحوال نقسم المادة الخام وبالتالى تكلفتها إلى :

(أ) مواد خام مباشرة :

وهى المواد التى تظهر فى المنتج النهائى بعد إنتهائه أو تلك التى يمكن إسنادها إلى كمية إنتاج بعينها مثل الفحم الذى يستخدم لصهر الشحنة المعدنية فى فرن الدست وبالتالى لا يظهر بكامله فى المنتج النهائى .

(ب) مواد خام غير مباشرة :

وهى المواد التى لا تدخل فى المنتج النهائى أو تلك التى لا يمكن إسنادها إلي منتج بعينه (كمواد التزييت والتشحيم) .

٨-١-٢- أجور العمال :

وهى المقابل المادى الـذى يتلقاه العمال نظير لما يقـومون به من خـدمات داخل الـوحدة الصناعية ويمكن تقسيم أجور العمال إلى :

(أ) **أجور عمال مباشرة** : وهى التى يمكن إسنادهـا إلى منتج بعينه وتشمل أجور العمال الذين إشتركوا مباشرة فى إنتاج هذه السلعة .

(ب) **أجور عمال غير مباشرة** : وهى التى لا يمكن إسنـادهـا إلى منتج معين وذلك مثل أجور عمال الصيانة وعمال النقل والمناورة .

٨-١-٣- المصاريف العامة (أو المصاريف الإضافية) .

وهذه المصاريف يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام رئيسية كالآتى :

(أ) مصروفات عامة صناعية :

وهى ما تحتاجه عمليات التصنيع من مصاريف كأجور العمال غير المباشرين من مشرفين وملاحظين وكتبـه خاصين بـا لمصنع أو با لمصـاريف اللازمـة لتشغيل المصنع من إضـاءة ومياه ومقابل استهلاك للمعدات والمبانى والتأمين على المصنع .

(ب) مصروفات عامة إدارية :

وهى تشتمل أجـور الإداريين ومقـابل استهـلاك أثـاثـات وأجهـزة ومعـدات المكـاتب ومصاريف الإتصالات البريدية والتليفونية ... إلخ .

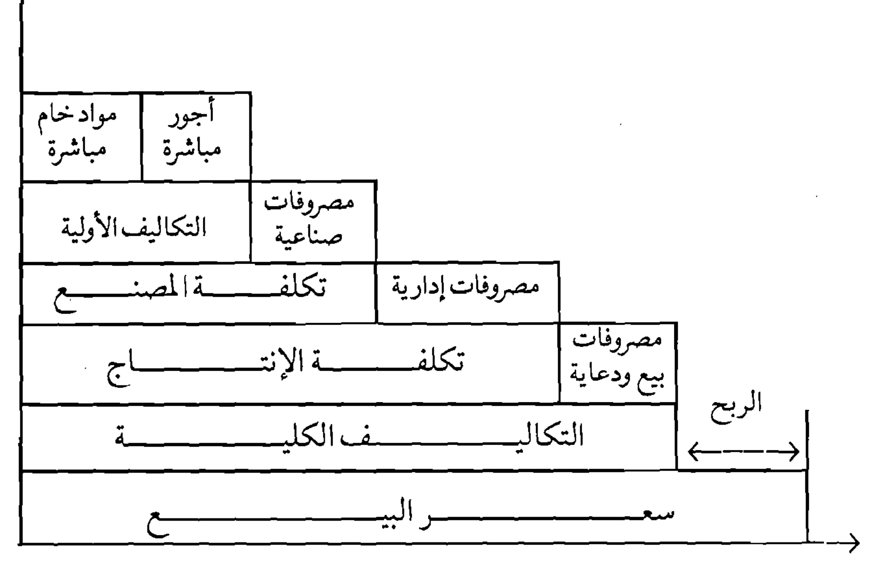
(جـ) مصروفات توزيع والدعاية :

وهى المصاريف الخاصة بإدارة المبيعـات وتشمل أجور العاملين بها ومصاريف الـدعاية والإعلان وإيجار المخازن وإعداد العبوات .

والتكلفة الكلية للإنتاج هى مجموع تكلفة المادة الخام والعمالة والمصروفات العامة .

٨-٢- طرق حساب التكاليف :

لسهولة حساب التكلفـة الكلية وتحديد الربح تجمع عناصر التكاليف السـابق ذكرها كما هو مبين بالشكل .



شكل (٨-١)

شكل (٨-١) العلاقة بين عناصر التكاليف والربح .

التكلفة الأولية = ثمن الخامات المباشرة + أجور العمال المباشرة

تكلفة المصنع = التكلفة الأولية + المصروفات العامة الصناعية

تكلفة الإنتاج = تكلفة المصنع + المصروفات العامة الإدارية

التكلفة الكلية = تكلفة الإنتاج + مصروفات البيع والدعاية

الربح = سعر البيع ـ التكلفة الكلية

ويرجع دور الإدارة الحكمية إلى تخفيض التكلفة الكلية حتى يزداد الفرق بين سعر البيع وبين التكلفة الكلية وبالتالى يزداد الربح .

٨-٣- تحليل التكاليف الصناعية

سنجد إنه من وجهه نظر أخرى عن التقسيم السابق لعناصر التكلفة يمكن تقسيم عناصر التكلفة إلى :

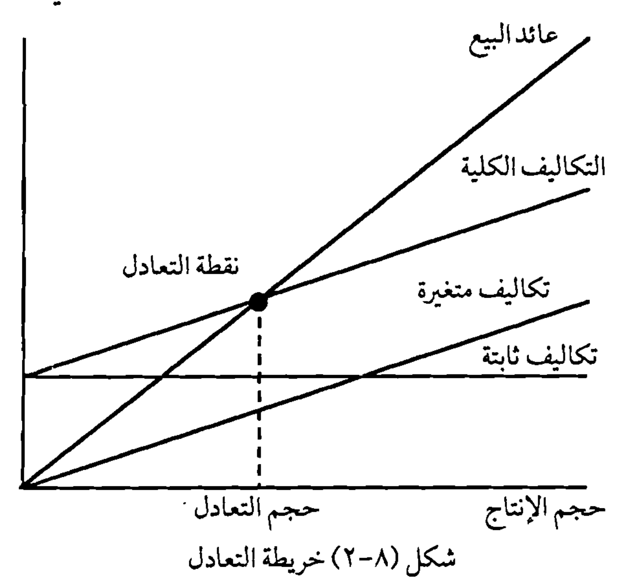
(أ) مصاريف ثابتة : **Fixed costs**

وهى التى لا تتغير سواء بالزيادة أو بالنقص بتغير كمية الإنتاج وذلك مثل مصاريف الإدارة والإيجار وإستهلاك المبانى والمعدات والعمالة غير المباشرة والتأمين .

(ب) مصاريف متغيرة Variable Costs

وهى التكـاليف التى تتغير طـرديًـا مع حجم الإنتـاج وبنفس النسبـة وذلك بفـرض أن أساسيات الحسـاب من مواد خام وخلافـه تظل ثابتة وترتبـط هذه التكاليف أساسًـا بخامات الإنتاج والعمالة .

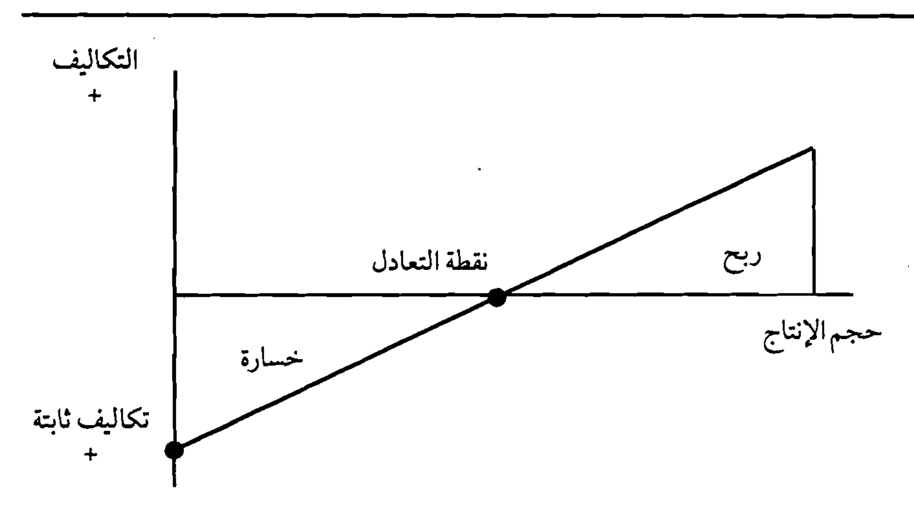
وعنـد دراسـة العـلاقـة بين التكلفـة وحجم الإنتـاج والـربح Cost-volume profit للتخطيط لأرباح المنشأة أو تعديل سياستها الإنتاجية فإن رسم خريطة التعادل Break even chart يساعد على سرعـة الدراسة والمقارنة وتقسيم وتحليـل سياسة المنشأة بشكل محدود سريع ويمكن رسم خريطة التعادل كما هو مبين فى شكل (٨-٢)



شكل (٨-٢) خريطة التعادل

وترسم خـريطـة التعـادل بـرسم الخط الـذى يمثل التكاليـف الكلية لـلإنتاج والخط الـذى يمثـل عـائد البيـع حيث يكـون سـعر البيـع يسـاوى سـعر البيع للـوحـدة الـواحـدة مضروبًا فى الحجم المنتج . ونقطـة تقاطع الخطين تسمى بنقطة التعادل والحجم المنـاظر يسمى بحجم التعادل . ويكـون هو الحجم الذى لا تحقق فيـه المنشأة ربحًا ولا خسارة . وعنـد زيادة حجم الإنتاج يمكن الحصول على ربح وعند نقص حجم الإنتاج تحقق المنشأة خسارة مادية .

ويمكن تمثيل العلاقـة بين حجم الإنتاج والأربـاح والخسائر كما فى شكل (٨-٣) حيث تكون الخسارة عند حجم إنتاج يساوى صفرًا مساويًا للتكاليف الثابتة وكلما زاد حجم الإنتاج يزيد الـربح الحدى أو الهامش وهو ربح وظيفى له وظيفة تعويض الخسـائر الناتجة من التكلفة الثابتة .



شكل (٨-٣)

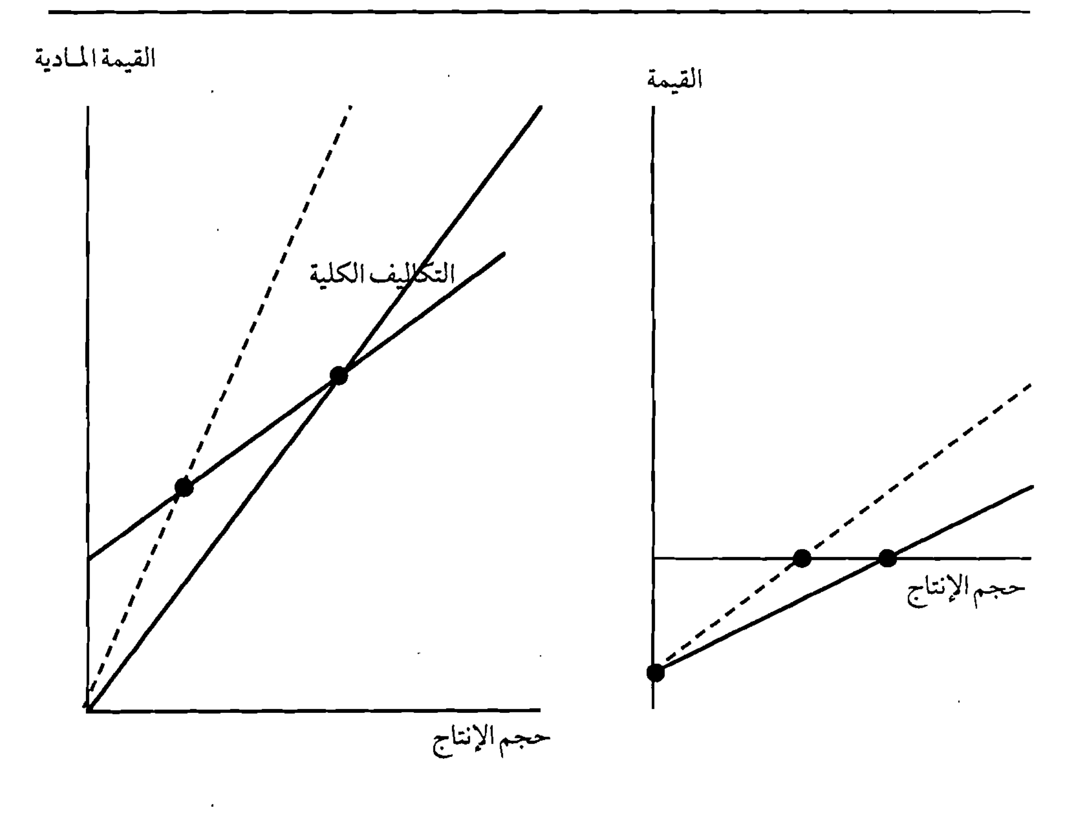
حيث إنـه فى حالـة البيع بسعر أكبر من التكلفـة المتغيرة يتم تغطيـة جزء من التكـاليف المتغيرة ويبقى جزء يغطى بعض الخسائر في التكاليف الثابتة ويزيد هذا الجزء حيث يغطى كل التكاليف الثابتة عند نقطة التعادل (BEP) .

ومما سبق نجد أن خـريطة التعادل تعد وسيلـة فعالة لربط حجم الإنتـاج بتكلفه الإنتاج وبـالربح النـاتج فمثلاً عنـد احتمال تعـديل الأسعار يمكن تمثيل ذلك على خـريطة التعـادل وخريطة العلاقة بين حجم الإنتـاج والربح شكل (٨-٤) وذلك يرسم خط يمثل السعر الحالى وآخر يمثل السعر المقترح ويمكن بذلك معرفـة حجم التعادل الجديد وإحتمالات الأرباح بعد تعديل السعر .

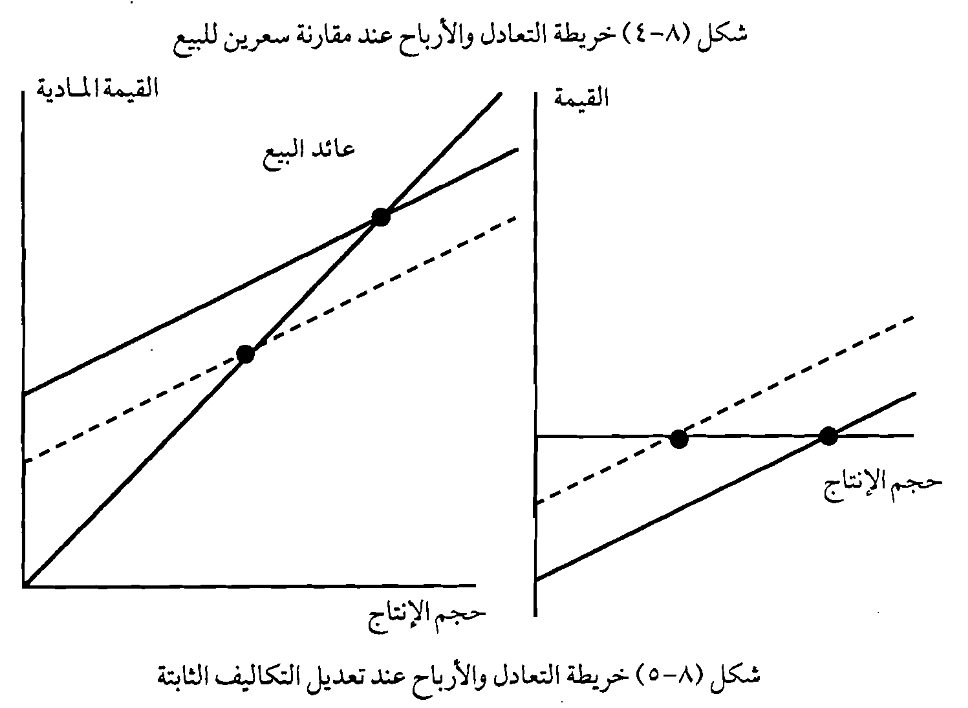
وفى حـالة تعـديل التكاليف الثـابتة لمنتج معين يمكن تـوضيح ذلك على الخرائط شكل (٨-٥).

٨-٤ - طرق تقييم قيمة الخامات

تعـد مشكلة إختيـار الخامات وتقييمهـا من المشاكل الإقتصـادية التى تـؤثر على تكلفـة المنتج وذلك لتنـوع وتعدد أنـواع الخامـات المختلفة الموجـودة ممـا وسع من دائرة الإختيار وممـا يصعب من الأمـر أن الخامات يمكن أن تختلف عن بعضهـا فى أكثـر من خاصيـة فعلى سبيـل المثال لـو إنه كـان الإختيار بين الصلب المنخفض الكـربون Ordinary low Carbon steel والصلب السبـائكى العالى المقـاومة Low alloy/high yield steelstrength حيـث يعتبر إجهاد الخضوع هو الحد الفاصل للإختيار .



شكل (٨-٤) خريطة التعادل والأرباح عند مقارنة سعرين للبيع



شكل (٨-٥) خريطة التعادل والأرباح عند تعديل التكاليف الثابتة

وجـه المقـــارنة	صلب منخفض الكربون Low carbon steel	Low alloy/high yield strength
إجهاد الخضوع yield strength (psi)	٣٢,٠٠٠	٥٢,٠٠٠
الإجهاد الأقصى Ultimate strength (psi)	٦٤,٠٠٠	٧٥,٠٠٠
التكلفة $	٠,٢٤	٠,٣٠

فإن هاتين الخامتين تتم مقـارنتهم على أساس تكلفـة الحصول على إجهـاد الخضوع بكل دولار .

الصلب منخفض الكربون Low carbon steel

$$\$\,٠,٠٠٠٠٠٧٥ = \frac{\$\,٠,٢٤}{٣٢,٠٠٠}$$

Low alloy/high yield strength steel

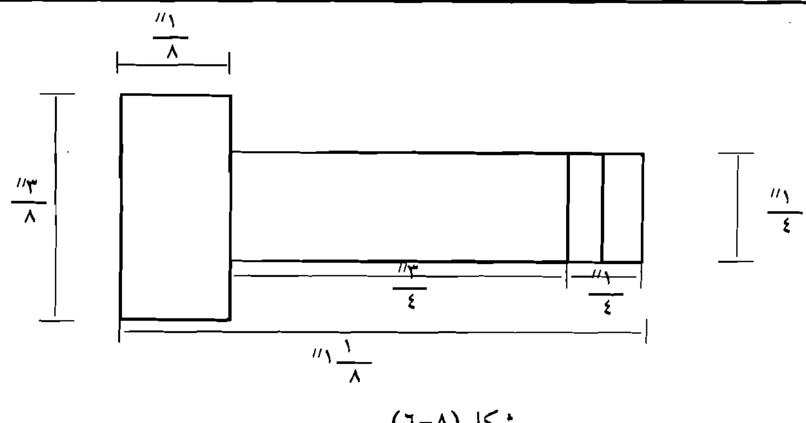
$$\$\,٠,٠٠٠٠٠٥٧٧ = \frac{\$\,٠,٣٠}{٥٢,٠٠٠}$$

وبالتالى يكون الإختيار للصلب المنخفض لكربون حيث إنه الأرخص والأقل تكلفة .

وبالتالى فإنـه فى حالة الإختيار بين خامتين أو أكثر لابـد من التأكد من الخاصية التى يتم عليها الإختيار أو التفصيل فعلى سبيل المثـال لو إننا كنا نفـاضل بين الصلب والألومنيوم لمنتج معين فكلاً من الجساءة rigidity والمقاومة strength لهم أهمية فى الإختيار وبـالتالى فإنه يجب الأخـذ فى الاعتبار كـلاً من modulus of elasticity,strength لكل خامـة للوصـول للقرار السـليم .

ومما هـو جدير بـالذكر أنـه ليس تكلفة الخامة وحـدها هى التى تؤخـذ بعين الإعتبار فى تقييم الخامات ولكن هناك أيضًا تكلفة بتصنيع هذه الخامة وتكاليف الشحن .

فمثـلاً لو فـرض أن هنـاك مسمار القلاووظ الموضح بـالشكل (٨-٦)، هـذا المسمار يتم تصنيفه على مكنة turretعالية السرعات high speed turret lathe من صلب تكلفته ١ , ٠ $ لكل رطل .



شكل (٨-٦)

والدراسة المطلوبة عن إمكانية عمل هذا المسمار من النحاس Brass لتخفيض تكلفته وتكلفة النحاس ٠,٧ $ لكل رطل .

- فإذا كان وزن المسمار من الصلب ٠,٠٣٥٣ رطل ووزن المسمار إذا تم عمله من النحاس ٠,٠٣٨٤ رطل .

- وتكلفة المادة الخام للمسمار الصلب ٠,٠٠٣٥ $ وللمسمار النحاس ٠,٠٢٦٩ $.

كما نجد أن تكلفة التشغيل لكلا الخامتين لابد أن تؤخذ فى الاعتبار .

- فنجد أن معدل الإنتاج ٥٧,١ مسمار/ ساعة إذا كان من الصلب ومعدل الإنتاج ١٠٢,٩ مسمار / ساعة إذا كان من النحاس .

- فإذا كانت أجر العامل ٣,٢٥ $ لكل ساعة والتكاليف الإضافية ٢,٥ $ لكل ساعة على المخرطة .

وبالتالى تكون مقارنة تكاليف الخامات كما هو موضح بالجدول .

	الصلب	النحاس
المادة الخام	٠,٠٣٥٣×٠,١ = ٠,٠٠٣٥ $	٠,٠٣٨٤×٠,٧٠ = ٠,٠٢٦٩ $
أجور العمال	٣,٢٥ ÷ ٥٧,١ = ٠,٠٥٦٩ $	٣,٢٥ ÷ ١٠٢,٩ = ٠,٠٣١٦ $
مصاريف إضافية	٢,٥ ÷ ٥٧,١ = ٠,٠٤٣٦ $	٢,٥ ÷ ١٠٢,٩ = ٠,٠٢٤٣ $
المجموع	٠,١٠٤٠ $	٠,٠٨٢٨ $

وبالتالى يكون مقدار الوفر للقطعة إذا تم عمال المسمار من النحاس .

$ ٠,٠٢١٢ = ٠,٠٨٢٨ـ٠,١٠٤٠

وبالتالى باعتبار أن المسامير تنتج بكمية كبيرة كـل سنة فتكون مقدار الوفر مثلاً ٢١,٢ $ لكل ألف مسمار .

ومن هنا يتضح مدى أهمية إختيار الخامات كدراسة إقتصادية لتكلفة المنتج .

٨-٥- حساب قسط الاستهلاك

مقــدمة :

إن معظم الأصـول الثابتة تظـل صالحة لـلاستعمال خلال مدة معينـة لا يمكن للمشروع بعدهـا أن يستغلها فى أعماله أى فى المساعـدة على تحقيق الربح . ولما كانت هذه الأصـول عند الحصول عليهـا قد تكلف المشروع ثمنًا فإن هـذا الثمن يعتبر بمثابة مصروف قـد صرف خلال تلك السنوات ولذلك توزع تكاليف هـذا الأصل خلال المدة التى يظل فيها صالحًا للاستعمال على تلك المدة حتى يكـون هنـاك تكـافـؤ فى تـوزيع عبء المصروفـات على السنوات الماليـة المختلفة وعملية توزيع العبء هذه هى التى يطلق عليها عملية الاستهلاك .

تعريف الاستهلاك :

يعرف الاستهلاك بأنه النقص التـدريجى فى قيمة الأصل نتيجة لاستعماله أولظهور اختراع جديد أو لنقص فى كميته .

ومن الطبيعى أن جميع الـوحدات تستهلك خـلال عمـر إفتراضى معين وهذا مـا يسمى بالاستهلاك الطبيعى Natural Depreciation وعند دراسة الاستهلاك الطبيعى لآلة مـا فإنه يلزم معرفـة السـعر الأصـلى Initial cost لهذه الآلـة وكـذلك سعر البيع لها بعـد الاستهـلاك كخردة Scrap value وكذلك معرفة فترة التشغيل المفروضة لها (العمر الافتراضى) .

والحكمة من الاستهلاك إنه يساعـد المنشأة على استبدال الأصل المستهلك بأصل جديد للاستمرار فى العمل .

والآن بعد أن عرفنا ماهية عملية الاستهـلاك وما هو تعريف الاستهلاك وحكمته يجب أن نوضح معنى بعض المصطلحات المستعملة .

عمر الأصل الافتراضى Life time :

هو عدد السنوات التى يقدر الخبراء أن الأصل فيها يظل صالحًا للاستعمال .

الخـــردة Scrap :

ويطلقون عليها بقـايا الأصل وهى عبارة عن الجزء الباقى مـن الأصل فى نهاية عمره . إذ أنه ليس من المعقول أن يفنى الأصل فناءً تامًا بل سيبقى منه فى نهاية الاستعمال أجزاء .

ويجدر التنويه إنه ليس معنى انتهاء عمر الأصل أن يفقـد شكله أو هيئته إنما يفقد قدرته على العمل بصورة إقتصادية .

قسط الاستهلاك

هـو المبلغ الذى يستقطع سنـويًا من الأربـاح مقابل مـا ينتاب الأصل من نقص نتيجـة استعماله فى أعمال المشروع وتحديد هذا المبلغ له طرق مختلفة .

* * * * *

المراجع

No.	Title	Author	Publisher
1.	Engineering Materials & Processes.	Hancock	Pitman
2.	Engineering Materials & Processes.	Cloop	International Co. Pennsylvania
3.	Engineering Manufactuing Methods.	Schaller	McGraw-Hill
4.	Engineering Manufacturing Processes.	Maslov	Peace publ. Moscew
5.	Metal Process Engineering.	Bidulya	Peace Publ. Moscew
6.	Mechanical Technology.	Charnock	Constable
7.	Workshop Technology. I. II. III.	Chapman, Wrightbacker	Edward Arnold
8.	Metal Machinery & Forming Technology.	Vidosic	The Ronald Press
9.	Engineering Materials & Workshop Processes.	Sharpe	Pitman
10.	Production Handbook.	Carson	The Ronald Press
11.	Basic Engineering processes .	Cronford	The English Universities Press
12.	Materals & processes in Manufacturing.	Dw Gramo	Mac Millan
13.	Manufacturing processes & Materials for Engineers .	Doyle	Prentic-Hall
14.	Fundamental of Manufacturing process and Materials .	Fdgar	Adison - Wesely
15.	A.S.M.E. Handbook. Metal Engineering processes.	Bolz	McGraw-Hill
16.	Manufacturing precesses.	Begemaa	John Wiley

17. Spanede Werkzeugmaschinen W. Charchut,Carl Hanser Verlas Munchen.

No.	Title	Author	Publisher
18.	Spanende Werkzeugmaschinen F.schwerd, Springer Verlag .		
19.	Spanende Werkzeuge d.matallbearbeitung, Kiepert, Berlin.		
20.	Fachkunde Metall	Eutop. Fachbuch- reihe	Verlage Europa. Lehr- mittel
21.	Lehrbuch F.Metalberufe	Rotthowe, Fuchsgruber.	Scheroedel Verlage
22.	Technologie Metall F.Maschinen technische Berufe	Group of Authers	Handwerk und Technik
23.	Fachkunde F.Metall-Verarbeitende Berufe	Group of Authors	Europa Lehrmittel

٢٤ - مدخل فى هندسة الإنتاج - أستاذ / حسن حسين فهمى ودكتور / جلال شوقى - مكتبة الأنجلو المصرية.

٢٥ - المتالورجيا الفيزيائية - أ.د. أحمد سالم الصباغ - عالم الكتب .

٢٦ - هندسة لحام المعادن - أ.د. أحمد سالم الصباغ - دار الشروق .

٢٧ - تكنولوجيا الورش والقياسات جـ/ ٢ , ٢ - أ.د. أحمد سالم الصباغ - عين شمس .

٢٨ - معدات لصناعة التشغيل على المكنات جـ/ ١ , ٢ , ٣ - أ. د. أحمد سالم الصباغ - وزارة التعليم .

٢٩ - معدات لصناعة الحدادة واللحام جـ/ ٢ , ٣ أحمد سالم الصباغ - وزارة التعليم .

30.	Machine Tools	R.N. Dutta.	S.CHAND. Company ltd 1992

٣١ - المدخل إلى هندسة الإنتاج أ. د. أحمد سالم الصباغ - عالم الكتب .

31.	Engineering Economy		E. Paul De Garmo John R. Canada William G. Sullivan

٣٢ - التنظيم : الهياكل والسلوكيات والنظم - د. سيد الهوارى - مكتبة عين شمس - القاهرة ١٩٨٠ .

٣٣ - « العملية التنظيمية والبناء التنظيمى » د. كمال حمدى أبو الخير - مكتبة عين شمس - القاهرة ١٩٩٥ .

34. "Engineering Orgaination & Management" Beniamin S. Blanchard, prentice-hall Inc., EngleWood Chiffs, New Jersey 1976



رقم الإيداع ١٠٦٤١/١٩٩٦
ISBN
977-5215-84-6

طبع: آمون
العنوان: ٤ فيروز - متفرع من إسماعيل أباظة
تليفون: ٣٥٤٤٣٥٦ - ٣٥٤٤٥١٧